

LUCETTE DAVY

L'EBRE

ETUDE HYDROLOGIQUE

TOME I

THESE PRESENTEE DEVANT L'UNIVERSITE DE MONTPELLIER III

— LE 13 JANVIER 1976 —

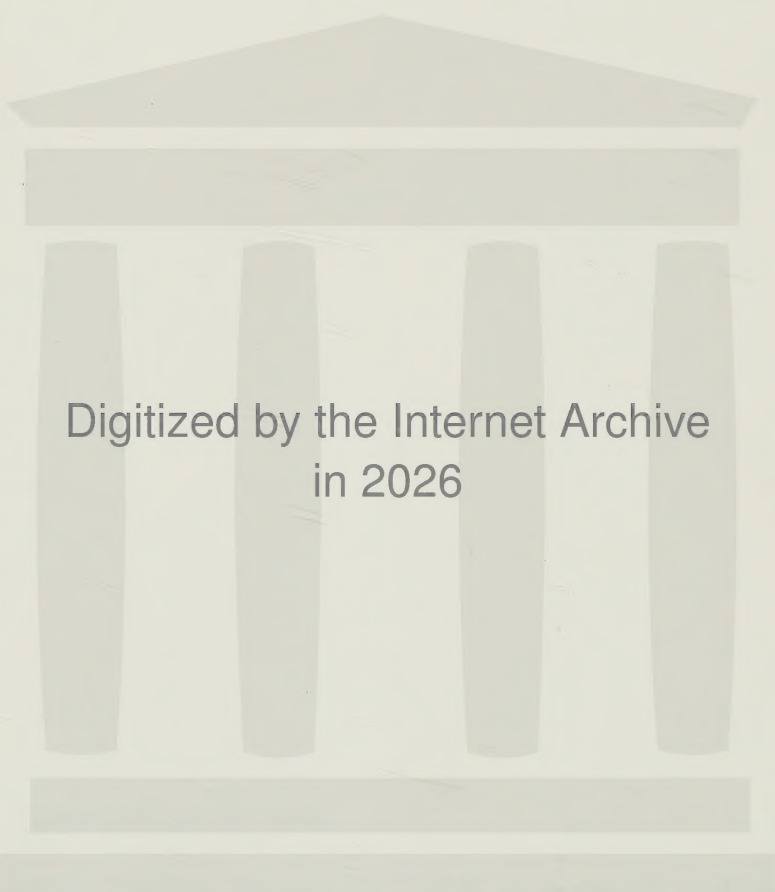
ATELIER
REPRODUCTION DES THESES
UNIVERSITE DE LILLE III
LILLE

DIFFUSION
LIBRAIRIE HONORE CHAMPION
7, QUAI MALAQUAIS
PARIS

1978

COMPOSITION DU JURY

- M. R. LAMORISSE, *Président, Directeur de l'U.E.R. de Géographie de Montpellier,*
- M. R. FRECAUT, *Rapporteur, Professeur à l'Université de Nancy,*
- M. G. BEAUDET, *Professeur à l'Université de Montpellier III,*
- M. C. DROGUE, *Professeur à l'Université de Montpellier II,*
- M. A. GUILCHER, *Professeur à l'Université de Bretagne Occidentale de Brest,*
- M. J. LOUP, *Professeur à l'Institut de Géographie Alpine,*



Digitized by the Internet Archive
in 2026

LUCETTE DAVY

L'EBRE

ETUDE HYDROLOGIQUE

TOME I

THESE PRESENTEE DEVANT L'UNIVERSITE DE MONTPELLIER III

— LE 13 JANVIER 1976 —

ATELIER
REPRODUCTION DES THESES
UNIVERSITE DE LILLE III
LILLE

DIFFUSION
LIBRAIRIE HONORE CHAMPION
7, QUAI MALAQUAIS
PARIS

1978



L'Atelier de Reproduction des Thèses décline toute responsabilité
touchant la qualité technique des documents qu'il reproduit.

La loi du 11 mars n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article 41, d'une part, que les "copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective" et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, "toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle, faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants-droit ou ayants-cause, est illicite" (alinéa 1er de l'article 40). Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du Code Pénal.

ISBN 2 - 7295 - 0091 - X

© Lucette DAVY, 1978

L' E B R E

ETUDE HYDROLOGIQUE

(Dessin de Pierre DEFFONTAINES - Avril 1975)

Le confluent du Segre et de l'Ebre à Mequinzenza pris du haut du Château de Mequinzenza. Les ruines du village en bas à droite. A gauche le Segre.



AVANT - PROPOS

C'est au Professeur M. Pardé..., et un peu aussi au hasard, que nous devons notre orientation vers la recherche hydrologique, alors que notre formation, historique aussi bien que géographique, aurait dû nous conduire vers des préoccupations relevant plutôt de la géographie humaine : c'est ici qu'intervient le hasard...

A l'époque où nous parvenions au stade du D.E.S., le Professeur M. Pardé était à la recherche d'étudiants qui accepteraient de faire une monographie sur telle ou telle rivière. C'est ainsi que les Gardons nous furent attribués par l'intermédiaire de notre maître P. MARRES dont nous saluons ici avec émotion la mémoire.

Plus tard, à l'heure de choisir un sujet de thèse, c'est tout naturellement que nous sommes retournée à l'hydrologie, qui nous avait intéressée comme discipline de synthèse, à la croisée de toutes les orientations de la géographie physique. L'objet précis de notre étude nous fut alors suggéré par P. DEFFONTAINES qui nous introduisit auprès des géographes espagnols et tint à nous faire lui-même, depuis les quais de Tortosa, une présentation du grand fleuve du Nord de l'Espagne.

Le Professeur M. Pardé ayant accepté le sujet avec cet enthousiasme qui le caractérisait, nous dirigea alors vers Monsieur J. LOUP, Professeur à l'Institut de Géographie Alpine qui voulut bien

assumer la responsabilité de la direction de thèse. Il le fit avec compétence et bienveillance. Qu'il en soit ici vivement remercié.

Nous tenons à exprimer aussi notre gratitude à M.J. DAUTY ingénieur hydrologue EDF qui nous a initiée aux méthodes de la statistique appliquée à l'hydrologie, et qui a bien voulu discuter avec nous de certains problèmes concernant en particulier les étiages.

Nous avons aussi une dette de reconnaissance envers le Professeur Ch. P.PEGUY, dont le stage de cartographie et de statistique à l'usage des climatologues et hydrologues nous fut fort utile, et dont nous avons souvent appliqué les méthodes dans notre étude du milieu climatique.

Au stade de l'enquête, le travail nous fut facilité sur deux plans :

Sur le plan humain, nous avons joui de la compréhension des ingénieurs de la Confédération hydrographique de l'Ebre, en particulier de MM. J.CALVO et J.L. CASAS MARIN, chefs successifs du département des jaugeages, grâce auxquels nous avons eu accès à la documentation hydrométrique. Nous avons rencontré un véritable esprit de collaboration chez les météorologues du centre de Saragosse, MM. M.LISO PUENTE et A. ASCASO LIRIA, qui ont ouvert pour nous leurs dossiers et leurs fichiers riches de renseignements. Enfin, grâce aux professeurs S. MENSUA FERNANDEZ et A. HIGUERAS, de la Faculté de Philosophie et Lettres de Saragosse, qui nous ont offert l'hospitalité de leur institut, nous avons pu trouver sur place un lieu propice à la réflexion géographique. Qu'ils trouvent tous ici l'expression de notre très vive reconnaissance pour l'aide précieuse qu'ils nous ont apportée, et l'atmosphère agréable dans laquelle, grâce à eux, nous avons pu travailler.

Sur le plan de la recherche proprement dite, le travail nous a été largement facilité par la centralisation des services espagnols. En effet, tandis que les rivières française sont découpées en tronçons relevant d'organismes différents, en Espagne, tout ce qui a rapport à un fleuve : mesures hydrométriques, ouvrages de protection des berges, études et exploitation des canaux d'irrigation, exploitation des barrages, est centralisé dans un organisme appelé Confédération Syndicale hydrographique de l'Ebre, du Douro... De même, le Centre Météorologique de l'Ebre, situé à Saragosse rassemble toutes les données climatiques concernant le bassin.

Enfin l'illustration cartographique a pu être réalisée grâce aux conseils et à l'aide de M. B.DARRAS dessinateur du laboratoire de Zoogéographie.

A tous ceux qui nous ont aidée à mener à bien cette étude, nous exprimons ici notre très vive reconnaissance.

I N T R O D U C T I O N

Du "Pico de las tres Mares" d'où l'on peut voir par temps clair briller au loin l'Océan (la distance à vol d'oiseau n'est que de 40 km), à la pointe de l'Ile de Buda, l'Ebre draine sur une distance de 500 km une longue cicatrice, entre les Pyrénées et la Meseta ibérique, entre une montagne jeune, aux reliefs élevés, générateurs de pentes fortes et d'un climat montagnard, et un vieux massif aplani, flanqué d'un lourd bourrelet marginal et qui doit à sa position au coeur de la péninsule, de se comporter climatiquement comme un véritable petit continent. Ainsi, Océanique par sa naissance au milieu des landes cantabriques à bruyères et ajoncs, pyrénéen et montagnard par ses affluents de rive gauche, castillan et continental par ceux de la rive droite, méditerranéen enfin dans son cours inférieur, l'Ebre est un fleuve complexe, qui représentait un magnifique objet d'étude pour un géographe.

Car c'est bien en géographe, et bon en hydrologue que nous avons abordé cette étude, même si nous l'avons émaillée de quelques recherches d'ordre statistique sur la probabilité d'occurrence de tel module ou de tel débit de crue ou d'éclage. Notre propos était avant tout d'essayer de définir le tempérament d'un fleuve, et de voir comment ce tempérament intégrait toutes les données du milieu : morphologie, sols, climat, végétation. ., c'est pourquoi nous avons

donné une place importante dans notre étude à ces facteurs.

Le plus souvent possible, les différents éléments qui conditionnent l'écoulement ont été examinés dans le cadre régional. Cette démarche nous est apparue nécessaire en fonction de l'étendue du bassin et de la variété des milieux physiques qui le composent. On n'aborde pas en effet l'étude d'un bassin aussi vaste (85000 km²) et aussi hétérogène comme celle d'un bassin versant de quelques centaines ou de quelques milliers de km². D'autre part, il était nécessaire dans le cas de déboucher sur la définition de provinces hydrologiques avant de voir comment se combinaient, dans le lit du fleuve, les influences reçues. C'est en fonction de ces impératifs que nous nous sommes attachée à décrire des milieux où l'alimentation fluviale et les conditions de l'écoulement présentaient des caractères définis.

En ce qui concerne l'étude hydrologique proprement dite, nos recherches précédentes sur les rivières cévenoles, tout comme les conseils du Professeur M. Paré nous incitaient à nous orienter plus particulièrement vers le problème des crues. Elles constituent en effet, non seulement, pour les populations riveraines, un événement redouté et dont la connaissance est du plus haut intérêt, mais aussi pour le géographe un domaine de recherche passionnant à cause de la complexité du phénomène mettant en jeu des mécanismes variés et qu'il s'agit de débrouiller. Nous leur avons donc réservé une grande place dans cette étude.

Cependant, il s'est avéré chemin faisant, que ces crues étaient moins spectaculaires que prévu ; moins contraignantes aussi pour la vie des riverains, même sur les affluents les plus orientaux

comme le Sègre ou le Cinca. Par contre, un phénomène nous est apparu tout à fait caractéristique de l'hydrologie de l'Ebre : l'étiage. En liaison avec des sécheresses très accentuées, la plupart des rivières connaissent des pénuries longues et sévères. Celles-ci nous ont paru constituer la principale originalité de notre bassin. Sur le plan humain, elles constituent et constitueront dans l'avenir avec le développement des besoins en eau, un des plus graves problèmes posés aux populations de ce secteur.

Au cours de ces études, nous nous sommes heurté à un problème majeur : comment déterminer dans les faits observés, la part de la nature et celle de l'homme? Car depuis les temps les plus reculés, les habitants de la vallée de l'Ebre et des vallées affluentes utilisent les eaux de leurs rivières pour vivifier des sols souvent riches, mais stérilisés par la sécheresse. A une époque plus récente mais à peine postérieure à la mise en place du réseau hydrométrique, on s'est attaché à la régularisation des débits au moyen de barrages nombreux et de dimensions variées. Tout ceci perturbe l'écoulement naturel dans une mesure qu'il est parfois difficile d'apprécier de façon précise. Cependant, grâce à l'effort accompli ces dernières années par les hydrologues de la Confédération de l'Ebre, afin de comptabiliser les débits consommés, nous avons pu tenter une approche du bilan global de l'eau. De même, la connaissance des débits journaliers d'entrée et de sortie dans les barrages de retenue et celle des volumes d'eau dérivés par les canaux, nous a permis de nous faire une idée de ce que seraient les étiages sans l'intervention de l'homme. Mais une étude plus précise de ces phénomènes n'était pas concevable dans le cadre de 85 000km² de bassin versant. Il reste donc pour les chercheurs qui voudraient s'attacher au problème du bilan de l'eau sur des bassins plus réduits, un vaste champ d'action.

P R E M I E R E P A R . I E

LES CONDITIONS DE L'ALIMENTATION ET DE L'ECOULEMENT
FLUVIAL DANS LE BASSIN DE L'EBRE

Ces conditions, c'est d'abord la situation géographique dont dépend le climat et en particulier la pluie. Nous insisterons sur ce facteur, essentiel en hydrologie puisqu'il conditionne l'alimentation des nappes et des sources, ainsi que l'écoulement superficiel. Mais les modalités de l'infiltration et du ruissellement sont liées à de nombreux autres facteurs d'ordre morphologique (pentes), lithologiques, climatiques (évaporation), biogéographiques. Ce sont tous ces facteurs qu'il convient d'analyser dans cette première partie, en essayant de dégager leur impact sur l'hydrologie du fleuve et de ses affluents. Ce souci ne devra pas nous faire oublier que la géographie est d'abord description avant d'être analyse. C'est pourquoi il nous a paru utile, après avoir parcouru des sources au confluent, tous les grands affluents, et le fleuve lui-même, d'inclure dans les chapitres I et II une présentation de la personnalité physique de l'Ebre et de ses affluents.

CHAPITRE PREMIER

LES CARACTERES GEOMORPHOLOGIQUES DU BASSIN

A l'intérieur du vaste triangle qu'ils constituent les pays de l'Ebre s'organisent de façon très schématique : une succession de chaînes, souvent fort élevées, se refermant à l'aval du côté des bouches du fleuve, ceinture une dépression intérieure dont le centre géométrique, situé approximativement à Saragosse s'abaisse à 190m alors qu'on est encore à 160 km de la mer, et que le fleuve doit parcourir 380km avant d'atteindre l'île de Buda, point extrême de son delta. Cette disposition constitue le phénomène géographique majeur de ce vaste secteur du Nord de l'Espagne. Elle détermine les caractères essentiels du climat, régit toute l'organisation du drainage, en particulier, permet au collecteur de cette cuvette de recevoir tout au long de son cours et jusqu'au voisinage de son embouchure, des rivières issues de reliefs élevés, et par conséquent relativement bien alimentées.

SECTION I - LES DONNEES MORPHOMETRIQUES GENERALES -

A - SITUATION GEOGRAPHIQUE -

Situé à l'extrémité SW de l'Europe, le bassin de l'Ebre occupe une position géographique tout à fait remarquable. Sa latitude ($40^{\circ}35' - 43^{\circ}20'$) le place en effet presque aux confins du monde tempéré, dans cette zone qui, sur les façades ouest des continents jouit d'un climat de type méditerranéen. D'autre part, la position de la Péninsule Ibérique, projetée comme une figure de proue vers le coeur de l'Atlantique, lui assure une longitude très occidentale. Reïnosa, en effet, au voisinage des sources est sur le méridien de Brest, Saragosse un peu à l'Ouest de celui de Bordeaux. Quant à la longitude de Tortosa, c'est à peu près celle de Dieppe. En résumé le bassin s'étend de $0^{\circ}45'$ de longitude W à $5^{\circ}45'$ de longitude E. On verra que pour certains secteurs au moins, cette situation modifie considérablement les données de la latitude.

Par rapport à l'Europe, le bassin de l'Ebre occupe une position charnière. Etiré d'Ouest en Est au travers de l'isthme pyrénéen, il facilite le passage entre l'Atlantique et la Méditerranée, des influences géographiques et des hommes. En même temps, dans le sens N-S, il unit deux "continents" (1) : l'Europe et la Péninsule Ibérique, le monde tempéré occidental et un monde presque

(1) L'étude climatique montrera en effet qu'en hiver et en été, la Meseta ibérique se comporte comme un véritable continent.

africain par les paysages morphologiques, végétaux... parfois même humains.

Cette situation annonce déjà un fleuve complexe du fait de la convergence, dans son aire de drainage d'influences géographiques variées.

B - FORME , DIMENSIONS , LIMITES -

1°/ Une gouttière triangulaire :

Le bassin de l'Ebre se présente comme une immense gouttière triangulaire en forme de feuille, étirée à l'amont vers l'Atlantique dont elle n'est séparée que par une distance de 40 km environ, et dont la base s'épanouit face à la Méditerranée, au niveau des chaînes catalanes que le fleuve franchit en gorges grandioses. Une étroite bande de terre met cet ensemble en communication avec la mer.

A l'intérieur de ce triangle, l'axe du drainage, est légèrement déporté vers le S. Il est orienté WNW - ESE et correspond à la plus grande longueur du bassin. 500km en séparent les deux extrémités constituées à l'amont par le "Pico de las tres mares" dans le chafnon de Pena Labra, à l'aval par la pointe de l'île de Buda qui forme l'extrémité du delta. La base du triangle qui représente la plus grande largeur du bassin, s'étire du SW au NE sur 320km, de la Sierra de Gudar à l'amont du Guadalope, au col de la Perche au voisinage des sources du Sàgre. Dans cet ensemble aux formes géométriques simples, et régulières, on remarquera toutefois

une exception : tandis que le versant de rive gauche s'élargit progressivement vers l'aval, celui de rive droite, régulièrement étri-
qué jusqu'au Moncayo s'épanouit brusquement, en arrière de cette
montagne, au niveau du réseau du Jalon. La largeur du bassin de
l'Ebre passe alors de 150km au droit de Tudela à 240km à la hauteur
de Tauste.

Le calcul de l'indice d'homogénéité de Ph. Pinchemel
(1) (1950) a donné une valeur de 0,565, comprise entre celles des
bassins de la Garonne (0,604) et du Rhône (0,550). Cette valeur
traduit un certain étirement du bassin.

Cette forme de triangle que nous avons défini ci-des-
sus détermine de façon étroite non seulement l'organisation du drai-
nage, mais encore l'extension, à l'intérieur du bassin des diffé-
rentes influences climatiques.

2° / L'inégale répartition des aires de drainage :

Avec près de 85000km² de surface, le bassin de l'Ebre
est le deuxième des bassins fluviaux ibériques derrière le Douro.
Il couvre le 1/6 de la superficie de l'Espagne et la presque tota-
lité du N de la péninsule, à l'exception de deux minces franges au
long du golfe cantabrique et en bordure de la Méditerranée. Ses
plus grands voisins, Douro au Sud et Garonne au Nord s'étendent
respectivement sur 97260 et 55000km².

(1) Cet indice est de la forme : $I = \frac{S}{\left(\frac{L}{2,59} \right)^2}$
 $0,565 \times \left(\frac{240}{2,59} \right)^2$

Comparé aux autres bassins qui versent à la Méditerranée, Rhône, Pô, Tibre, Vardar, celui de l'Ebre occupe une place très honorable. Seule, l'aire de drainage du Nil lui est largement supérieure.

A l'intérieur du bassin, ces surfaces se répartissent de façon quelque peu inégale entre les deux versants d'abord, entre les bassins affluents ensuite.

Le glissement vers le S de l'axe de la gouttière assure au versant N un certain avantage spatial. Celui-ci en effet s'étend sur près de 50000 km² contre 35000 pour le versant S. Cet avantage n'est pas très considérable et il ne serait pas décisif sans l'intervention du climat. Or la dissymétrie spatiale est doublée d'une dissymétrie pluviométrique de même sens qui détermine une prépondérance incontestable du versant de rive gauche dans l'alimentation du fleuve.

En ce qui concerne les bassins affluents, nous observons une double opposition entre ceux d'amont et ceux des zones moyennes et inférieures et entre ceux de rive gauche et ceux de rive droite. A l'amont, une collection de bassins longilignes, de petites dimensions, s'échelonnent jusqu'à la confluence de l'Aragon. Leurs surfaces assez voisines sont le plus souvent de l'ordre du millier de km². Cette situation entraîne une augmentation régulière des surfaces drainées en fonction de la longueur du collecteur. Au contraire, quatre grands bassins se partagent la presque totalité du restant de l'aire de drainage. Ce sont par ordre de confluence : l'Aragon (11280 km²), le Jalon (9624 km²), le Gallego (4009 km²) et le Segre (22578 km²).

On constate que 3 sur 4 de ces bassins appartiennent au versant pyrénéen, un seul au versant ibérique. Nous retrouvons dans le domaine du drainage de base, la dissymétrie fondamentale entre les deux versants déjà soulignés.

3°/ Les trois lignes de partage des eaux :

Un rapide coup d'oeil à la carte du relief nous permet de faire deux constatations : d'abord, le bassin de l'Ebre est limité sur ses trois côtés par des reliefs relativement élevés et bien individualisés. De plus à chacune de ces trois lignes de partage des eaux correspond pratiquement un système montagneux particulier.

a - Au Nord, la limite du bassin s'étire, presque rectiligne sur plus de 500km de long en suivant approximativement le 43ème parallèle. Elle emprunte successivement la crête des Monts Cantabriques, les sommets des massifs basques et enfin les Pyrénées proprement dites. Jusqu'au niveau de la Sierra de Aralar, elle présente trois caractères qui méritent d'être signalés pour leur retentissement sur le climat et l'hydrologie de ces régions.

Le plus remarquable est sans doute la disposition de cette limite amont qui s'aligne parallèlement à la côte dont elle ne s'éloigne jamais de plus de 40km. P. Rat soulignait déjà en 1958 la localisation curieuse de cette ligne de partage des eaux qui rejette vers la Méditerranée à plus de 500km de distance, des eaux qui, en moins de 50km pourraient gagner la mer.

Sur le versant intérieur la distance qui la sépare de l'Ebre est, elle aussi réduite. Elle passe progressivement de quelques kilomètres à 50 km environ.

L'altitude enfin n'est jamais très élevée, à l'exception de la Sierra de Peña Labra qui se dresse hardiment à 2175 m et de la Sierra del Cordel qui la continue sur une courte distance, partant ailleurs la ligne de partage des eaux se tient à des niveaux point trop élevés : 10⁰⁰, 1200 m le plus souvent. Localement, dans les massifs de Gorcea, Aitzgorri, Aralar, elle se hisse aux environs de 1500 m, exceptionnellement elle atteint 1707 m au Castro de Valnera. Mais l'essentiel réside ici dans l'existence entre ces reliefs, de seuils ouverts à 700-800 m d'altitude et même 650 au NW du bassin de Pampelune. La présence de ces seuils est de toute première importance, tant par ses incidences climatiques que par ses conséquences hydrologiques. Ils permettent en effet la pénétration dans le haut bassin, des masses d'air fraîches et humides, d'origine atlantique, qui vont propager l'influence océanique jusque sur le versant NW du système ibérique. D'autre part, les rivières nées dans ce secteur accusent des pentes anormalement faibles dans leur cours supérieur. Il résulte de cette situation une certaine indécision du drainage, et par conséquent des limites du bassin.

De la Sierra de Aralar au Pic d'Anie, la ligne de partage des eaux conserve ses caractères mais voit s'éloigner à la fois l'Océan, du fait de l'orientation SN prise par la côte, et le fleuve qui continue sa course vers le SE.

A partir du Pic d'Anie, sur près de 250 km, ce sont les hautes Pyrénées qui forment une véritable barrière élevée, massive,

entre le bassin de l'Ebre d'une part, d'autre part ceux de l'Adour, de la Garonne puis de l'Aude et de la Têt. Barrière climatique d'abord qui contient sur ses versants opposés influences océaniques et influences méditerranéennes. Un exemple mérite d'être cité dès à présent. De part et d'autre de l'interfluve Véral-Subordan dans le haut bassin de l'Aragon, les rivières ne réagissent pas aux mêmes flux perturbés. Or cet interfluve correspond au pic d'Anie, c'est à dire au point où la chaîne prend brusquement de l'altitude. La vigueur des reliefs implique aussi une barrière hydrologique rigide. Cependant, les masses de calcaires dévoniens englobés dans le soulèvement peuvent entraîner localement des modifications de drainage par voie souterraine. On verra plus loin le cas bien connu de la capture du haut-Esera par la Garonne

b - le deuxième côté du triangle isocèle, bien que correspondant à un seul système montagneux, présente une plus grande complexité.

- De la première section de cette limite nous retiendrons :

- L'orientation NW-SE qui la rend d'aurant plus sensible aux flux océaniques du secteur Nord, que la distance à la côte n'est pas encore très élevée et que l'altitude des massifs basques permet la pénétration de ces flux.
- La distance à l'axe de la gouttière, faible et régulière : 35 à 50km.
- L'altitude enfin; au-delà du seuil de la Bureba par lequel les bassins de l'Ebre et du Douro ont communiqué au Tertiaire, la ligne de partage des eaux court à des altitudes supérieures à 2000 m en bien des secteurs; sur les sommets de la Sierra de la Demanda, des Picos de Urbión, de la Sierra Cebollera, du Moncayo enfin,

point culminant de cette région (2313m) et le plus près du fleuve puisque 35km seulement le séparent de Tudela.

- Signalons enfin la position de cette ligne de partage des eaux un peu en arrière des plus hauts sommets, ce qui semble dénoter un grignottage des tributaires de l'Ebre aux dépens de ceux du Douro. L'étude des pentes et du pouvoir érosif des rivières sur chaque versant nous confirmera dans cette idée.

- A partir du Moncayo, la ligne de partage des eaux décrit un angle droit et, par la Sierra Palomera arrive à la Sierra Ministra, origine du Jalon et zone étonnante qui, malgré sa faible altitude (1305 m) et sa faible pluviosité alimente 3 des plus grands fleuves espagnols : le Douro, le Tage et l'Ebre. La limite du bassin se poursuit à travers des reliefs tabulaires jusqu'à l'Albarracín, petit massif d'altitude modeste, 1855m au maximum, qui constitue pourtant le principal centre de dispersion des eaux de toute la péninsule. Deux fleuves y prennent naissance : le Tage, fleuve atlantique, et le Turia, fleuve méditerranéen. Plusieurs affluents de ces deux fleuves descendent aussi de la Sierra de Albarracín, ainsi que le Jiloca, soit au total 7 grandes rivières.

On retiendra aussi la position de cette ligne de partage des eaux. Après le redans du Moncayo, elle reprend sa course du NW au SE, mais en retrait par rapport au secteur précédent, ce qui la porte à 120-130km de l'axe du bassin, et la met à l'abri, derrière le Moncayo des influences océaniques.

- Au-delà du fossé Daroca-Teruel, la limite des eaux versant à l'Ebre se rapproche quelque peu du fleuve et s'élève sur la Sierra de Gudar jusqu'à 2000 m. Un peu à l'Est, elle rejoint les chaînes catalanes qui ferment à l'aval le bassin de l'Ebre.

c - Face à la Méditerranée, la gouttière de l'Ebre est limitée sur 333km, du Maestrazgo au col de la Perche par la Cordillère Catalane, puis la Sierra del Cadi : à l'exception de cette dernière montagne qui s'élève à 2531m à la Tossa, ces reliefs forment une barrière d'altitude moyenne mais massive et climatiquement efficace séparant d'un côté une série de torrents méditerranéens au profil tendu, de l'autre des rivières plus longues et aux pentes réduites. On a là, surtout jusqu'à la Segarra, une situation assez proche de celle de la limite cantabrique. Au-delà de la Segarra, la ligne de partage des eaux garde une orientation SW-NE tandis que la côte s'incurve vers l'Est, augmentant la distance qui la sépare du bassin du Sègre.

En conclusion, plusieurs caractères se dégagent de ce tour d'horizon des limites du bassin.

D'abord leur altitude généralement assez élevée; pres- que partout même vers l'aval, elle se tient au-dessus de 800m. En conséquence, ces reliefs bordiers constituent non seulement une barrière hydrographique, mais tendent aussi à isoler le bassin des influences climatiques extérieures.

Deux sections de la ligne de partage des eaux courent parallèlement à la côte sur des distances importantes, et à quelques dizaines de kilomètres seulement à l'intérieur des terres. Cette situation détermine des disparités dans la puissance érosive des rivières et laisse prévoir des captures aux détriments du bassin de l'Ebre.

Il n'existe pour l'Ebre de possibilité de conquête que dans un seul secteur : au long du versant Ibérique, en particulier dans sa partie NW. Dès le haut Jalon, les chances s'amenuisent du fait de la faiblesse des pluies donc des débits qui interdit aux rivières de profiter des données morphologiques. Au-delà, les systèmes de pentes sont à nouveau en faveur des rivières extérieures au bassin.

TABLEAU I : HYPSONOMETRIE- DU BASSIN DE L'EBRE

a) Répartition des surfaces par tranches d'altitude

Bassins versants	Altitude Minimale	Altitude Maximale	0 à 200 m	200 à 500 m	500 à 1000 m	1000 à 1500 m	1500 à 2000 m	2000 à 2500 m	2500 à 3000 m	3000 m	Surface Totale
Ebre à Miranda	460	2 175	km2	62	4 426	1 001	54	3,6			5 546
			%	1,1	79,8	18	1	0,06			
Ebre à Zaragoza	189	2 886	km2	35	9 932	8 632	796	131	6		40 540
			%	0,08	23	53,3	2	0,3	0,01		
Ebre	0	(3 404)	km2	3 278	23 778	35 716	4 146	1 909	629	12,9	84 260
Bassin total			%	4,2	28,2	42,3	4,9	2,2	0,7	0,01	

b) Surfaces et fréquences cumulées.

Bassins versants	Altitude Maximale	Altitude Minimale		Surface Totale	Surface au-dessus de 200 m	Surface au-dessus de 500 m	Surface au-dessus de 1 000 m	Surface au-dessus de 1 500 m	Surface au-dessus de 2 000 m	Surface au-dessus de 2 500 m	Surface au-dessus de 3 000 m
Ebre à Miranda	2 175	460	S	5 547	5 547	5 485	1 059	58	3,6		
			%	100	100	98,9	19,1	1,06	0,06		
Ebre à Zaragoza	2 886	189	S	40 540	40 505	31 173	9 565	933	137	6	
			%	100	99,9	76,9	23,6	2,3	0,31	0,01	
Ebre	(3 404)	0	S	84 260	80 982	57 204	21 488	6 697	2 551	642	12,9
Bassin total			%	100	95,8	67,6	25,3	7,8	2,9	0,7	0,01

C - REPARTITION DES ALTITUDES DANS LE BASSIN -

Aucun chercheur ne s'étant penché jusqu'à présent sur ce problème, la réalisation des tableaux relatifs à l'hypsométrie des bassins versants (Tableaux I, II, III et IV) a nécessité un énorme travail de planimétrage bassin par bassin que nous avons réalisé essentiellement à partir des cartes d'Etat-Major espagnoles au 1/200.000 e. Cependant pour la haute montagne où les surfaces supérieures à 1500 m, et à plus forte raison celles situées au-dessus de 2500 ou 3000 sont très réduites, ce qui risquait d'entraîner des erreurs de mesure considérables, nous avons utilisé les plans directeurs au 1/25.000 e.

Les résultats pour l'ensemble du bassin sont consignés dans le Tableau I. Il apparaît sur ce tableau que les surfaces inférieures à 200 m occupent dans le bassin de l'Ebre une place réduite : 4,2 % seulement de la superficie totale. Ces zones basses sont réparties de façon assez inhabituelle puisque la moitié relève du bassin inférieur et l'autre moitié du bassin moyen. Cette anomalie résulte de la topographie de cuvette fermée qui caractérise cette région. Effectivement, cette première tranche d'altitude est constituée en dehors du delta et de la vallée inférieure par l'aval de la dépression aragonaise, et son annexe, la cuvette de Lérida.

La tranche suivante, celle de 200 à 500 m couvre 28 % du territoire. Elle représente essentiellement les étendues plus ou moins tabulaires de part et d'autre de l'Ebre moyen, et la vallée elle-même en amont de Saragosse, plus précisément de Saragosse à Logroño.

Fig.1: HYPSONOMETRIE DES BASSINS VERSANTS

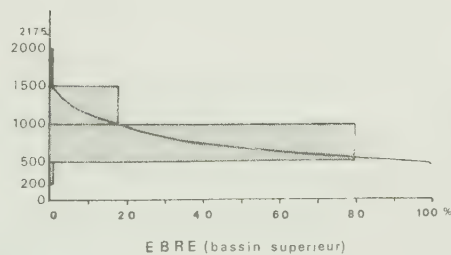
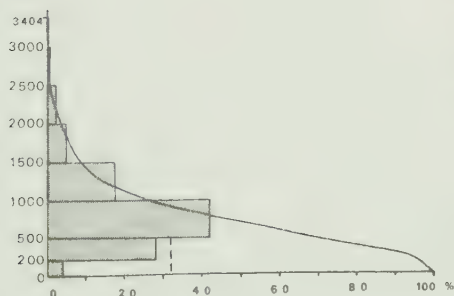
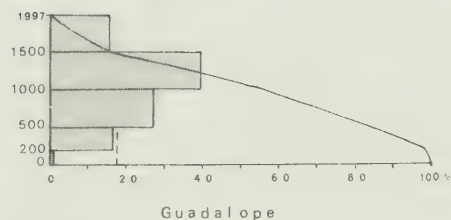
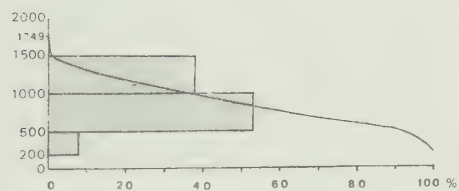
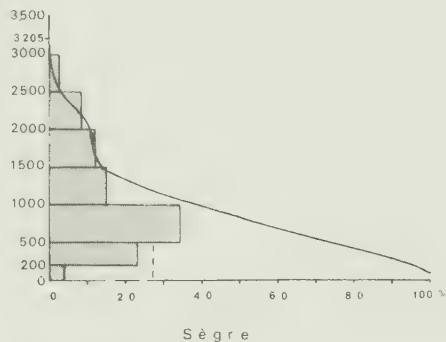
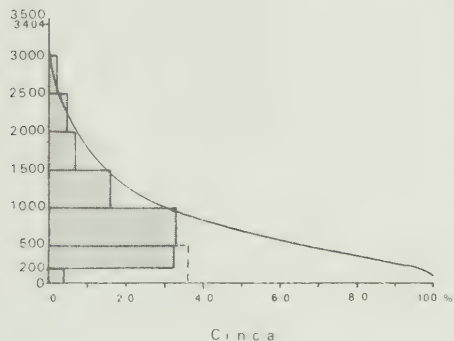
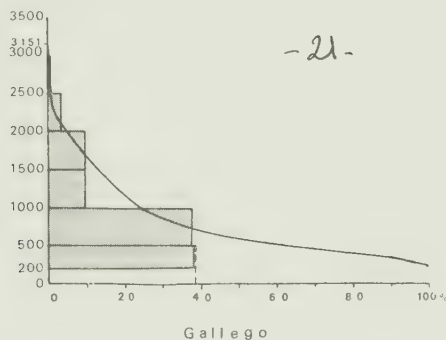
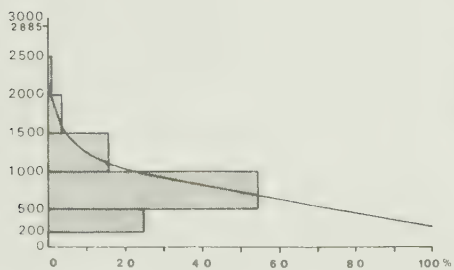
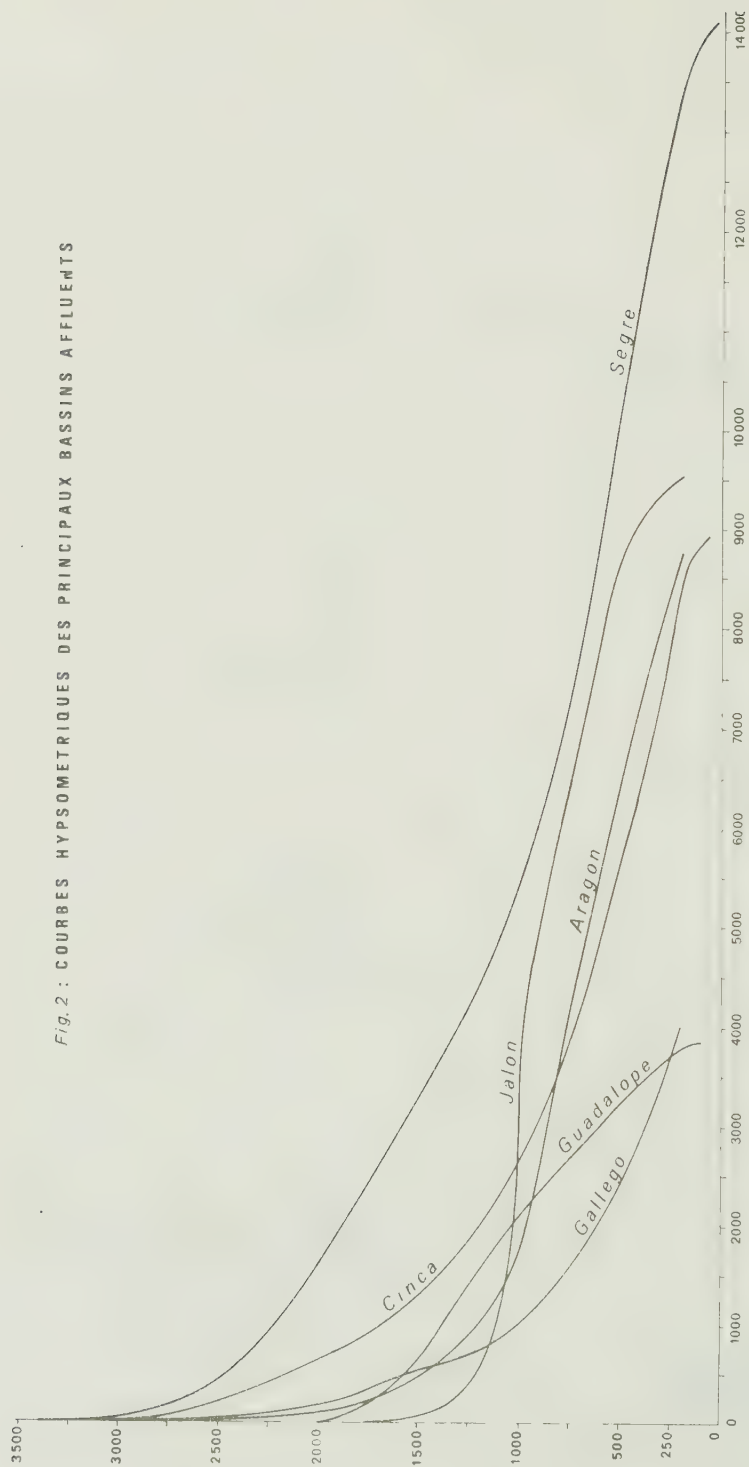


Fig.2 : COURBES HYPSONOMETRIQUES DES PRINCIPAUX BASSINS AFFLUENTS



Près de la moitié du bassin, 42 % exactement, s'étale entre 500 et 1000 m, c'est à dire dans des zones de moyenne montagne et de piémont. C'est ainsi que l'amont du bassin, correspondant aux montagnes cantabriques est presque tout entier situé dans cette tranche (80 %). Le reste est constitué par les piémonts pyrénéens et ibériques et les reliefs du bassin inférieur.

25 % du bassin sont situés au-dessus de 1000 m et voient par conséquent leur hydrologie plus ou moins influencée par la neige. Cependant cette altitude qui impliquerait dans des pays plus septentrionaux des coefficients de nivrosité déjà importants, est tempérée ici par la latitude. C'est pourquoi, pour trouver une influence nivale bien caractérisée, il faut atteindre le seuil supérieur, c'est à dire 1500 m. Or les surfaces qui se hissent au-dessus de ce niveau ne couvrent que 7,8 % du territoire, soit 6700 km². Elles appartiennent essentiellement aux Pyrénées où elles se répartissent entre les hauts bassins de l'Aragon (469 km²), du Gallego (563 km²), du Cinca (1284 km²), et surtout du Sègre (13.313 km²). Le versant S ne s'élève au-dessus de 1500 m que localement, en particulier dans la Sierra de Gudar qui apporte à cette tranche les 596 km² du haut bassin du Guadalope. Tout à l'amont du bassin, seuls les deux chaînons qui en forment la pointe extrême atteignent et dépassent le seuil.

Nous n'avons enfin trouvé que 12 km² de très hautes surfaces, supérieures à 3000m, et susceptibles par conséquent d'héberger des glaciers. Ces surfaces appartiennent aux plus hauts sommets pyrénéens : Pico Moros (3151 m), Vignemale (3303 m), Mont Perdu (3365 m), Marboré (3250 m), Posets (3375 m), Perdiguero (3170 m), Maladetta enfin qui s'élève à 3404 m au pic d'Aneto. Etant donné la faible étendue de ces très hautes surfaces, il y a peu de chances de trouver ici des rivières au régime glaciaire. Seuls quelques petits émissaires de glaciers, sur leurs premiers kilomètres de cours, pourront relever de ce type de régime.

SECTION II - LES GRANDS ENSEMBLES MORPHO-STRUCTURAUX ET LEUR DRAINAGE -

Ces grands ensembles morpho-structuraux seront traités ici dans le cadre des trois grandes parties du bassin : bassin amont, moyen et inférieur.

Notre but étant de montrer les conditions rencontrées par les précipitations lorsqu'elles arrivent au contact de la croûte terrestre, nous avons insisté sur deux aspects : les altitudes, et les pentes qui leur sont liées, et la lithologie. Les altitudes conditionnent en effet d'abord la forme même des précipitations : pluie ou neige, et ensuite, la vitesse de ruissellement. Celle-ci est importante en soi, au moment des crues, en particulier, de plus, elle agit indirectement sur l'évaporation et l'infiltration, donc en définitive sur le bilan de l'eau. La lithologie commande l'infiltration, favorise ou non la constitution de nappes phréatiques, détermine l'emplacement des sources. Elle est un facteur important de la densité de drainage et de la physionomie des réseaux hydrographiques.

Nous avons réduit au maximum la description de la structure, cependant, celle-ci commande parfois l'organisation du réseau, et lorsqu'il y a discordance, l'allure des cours d'eau s'en trouve plus ou moins profondément affectée. C'est pourquoi il nous a paru utile de rappeler certains aspects de cette structure.

A - LE BASSIN SUPÉRIEUR -

1° / Le cadre morpho-structural :

Le bassin supérieur, jusqu'à Las Conchas de Haro, est cons-

titué essentiellement par les montagnes vasco-cantabriques. C'est une zone complexe, modelée dans des sédiments secondaires gréseux et calcaires d'âge surtout crétacé, appuyés à l'Ouest sur le massif paléozoïque asturien, à l'Est, sur le massif basque des "Cinco Villas" tous deux situés hors du bassin. Soulevés à partir du Lutétien par les mouvements qui ont donné naissance aux Pyrénées, en même temps qu'ils ont fait surgir les sierras Cantabrique et Ibérique, ces sédiments ont été ployés selon des styles tectoniques variables, soit plis de style jurassien, soit dômes et cuvettes.

Schématiquement, on peut distinguer les unités structurales suivantes:

Au centre, dans l'axe du bassin, un long synclinal plus ou moins étroit, orienté en gros d'W en E, c'est le "synclinal sud-pyrénéen" de J.PH. Mangin et P. RAT (1960-62) dont ces auteurs ont démontré la présence depuis les abords des sources de l'Ebre jusqu'en Aragon. Mais seule la partie occidentale, déprimée, nous intéresse ici. Elle se décompose en un chapelet de cuvettes comme celles de Villarcayo et Miranda de Ebro, bourrées de sédiments oligomiocènes. Plus à l'Est, le fond du synclinorium, porté à des altitudes élevées, supérieures à 1000 m, constitue les Sierras de Encia, Urbasa et Andia. Mais ces reliefs, drainés essentiellement par des tributaires de l'Ega ou de l'Aragon (par l'Arga), appartiennent déjà au bassin moyen.

Ce synclinal est bordé :

- Au Nord par une zone anticlinale dont l'axe est situé hors du bassin, sur le versant cantabrique, mais dont le flanc sud s'égoutte vers l'Ebre. En réalité, les choses sont un peu différentes de part et d'autre du secteur Haut-Trueba - Valle de Mena qui forme

la charnière entre deux unités : à l'Est, l'arc basque, extrémité du système pyrénéen, à l'Ouest, les dépendances et la couverture du massif asturien. A l'Est, la situation est conforme au schéma ci-dessus. A l'Ouest, la situation est plus complexe. Entre les dernières apophyses du massif asturien, au NW de Reínoza, et l'anticlinal de Bilbao, la zone d'enncoyage asturien est constituée dans le secteur qui nous occupe, par une série de bombements, de brachyanticlinaux, à noyau waldien de marnes gréseuses et carapace de calcaire urgonien.

- Au Sud, un autre bourrelet anticlinal, modelé dans les calcaires crétacés, sépare l'axe synclinal de la "marge méridionale" (J. PH. Mangin et P. Rat), zone structuralement effondrée et topographiquement déprimée, par laquelle les deux bassins de l'Ebre et du Douro ont communiqué à l'Oligocène. Ici encore, il faut distinguer un secteur ouest, en amont du méridien de Burgos, plus élevé, constitué essentiellement par le synclinal largement ouvert de Quintanalonga, à substratum crétacé argilo-sableux, et le couloir Bribiesca-Logroño, comblé de matériaux détritiques ou lacustres, accumulés à l'Oligo-miocène sur de très grandes épaisseurs, (4 à 6000 m peut-être au voisinage de l'Ebre).

L'exploitation de cette structure par l'érosion a donné des formes diverses : sierras plus ou moins déchiquetées, cuestras, hautes surfaces. Tout ceci se dispose de façon assez anarchique. Certes les altitudes maximales se trouvent généralement à la périphérie, formant la ligne de partage des eaux avec les rivières cantabriques ou le bassin du Douro. Mais, sauf l'exception déjà signalée de la Sierra de Peña Labra, point culminant de ce secteur, dressé à 2175m d'altitude, à l'extrême pointe du bassin, et des crêtes calcaires de la Sierra del Cordel et de Valdecebollas, qui l'encadrent sur quelques dizaines de kilomètres, les reliefs bordiers sont modestes, et l'altitude relative par rapport à la vallée de l'Ebre et aux bassins voisins, plus faible encore, en particulier au Sud de l'Ebre dans le

secteur des "Paramos de la Lora" et sud-est de la "Bureba", un seuil à peine marqué permet de passer aisément sur le versant du Douro. De même au Nord du "Pantano" de l'Ebre, le Puerto de l'Escudo par lequel on accède au versant cantabrique, accuse une altitude relative de 160 m seulement au-dessus du lac de retenue. Entre ces courcirs, la ligne de partage des eaux est constituée au N par de puissantes cuestas de grès supra-urgoniens qui donnent les Sierras de la Magdalena (1244 m), S. Salvado (1178 m), S. de Guilaarte (1004m).

Plus à l'Est les altitudes se relèvent en particulier au niveau des cuevas calcaires de Aitzgerri et Aralar, dressées au-dessus du bassin de l'Ormaiztegui.

A l'intérieur de ces limites plus ou moins nettement dessinées, se disposent, sans ordre bien défini, des reliefs variés : tantôt bourreliers montagneux, tantôt cuestas hardies, tantôt plate-formes légèrement onduillées, dont l'aspect dépend essentiellement de la nature du matériel rocheux. Ainsi, aux environs de Reinosa, sur des plateformes de grès colonisées par une végétation de bruyères et d'ajoncs, se développe un paysage digne de la plus typique lande bretonne. Rien ne manque à ce paysage : ni les troupeaux de vaches à la robe tachée de noir, ni le ciel polychrome et changeant, ni la fréquence du brouillard, ni même, autour des prés, ces murettes de pierres arrondies, si différentes des murailles de pierre sèche des pays méditerranéens...

Les "Paramos de la Lora" offrent un aspect assez différent. Ces hautes surfaces constituées par des cuvettes synclinales largement ouvertes, sont taillées dans un niveau d'argile du Crétacé supérieur, c'est pourquoi l'eau abonde ici en surface, suintant d'innombrables

sources qui alimentent un réseau chevelu de petits ruisseaux. Avec les hautes plateformes calcaires ou gréseuses du pays basque, en arrière de Aralar et Aitzgorri, nous abordons un troisième type de paysage tabulaire. Sous le climat pluvieux de ces régions, l'évolution karstique s'est faite rapidement, et les plateaux apparaissent aujourd'hui écorchés de vallées sèches, troués de dolines, de poljes et d'avens, par lesquels les eaux disparaissent pour former des cours d'eau souterrains au tracé mal défini, ce qui rend difficile la délimitation réelle des bassins versants.

A l'intérieur de ce cadre de plateformes développées essentiellement sur le synclinal sud-pyrénéen, des formes plus hardies apparaissent : Sierra de la Teste (1329 m) S. de Ona (1239m), Montes Obarenes (1434 m). Elles correspondent au bourrelet anticlinal méridional, et séparent les cuvettes synclinales de Villarcayo au N et de Quintanaloma au S. Plus à l'E, la Sierra de Urbasa est un synclinal perché, dressé en une crête vigoureuse de près de 700m de commandement, au-dessus de la vallée de l'Araquil, belle dépression longitudinale, prolongée à l'Ouest par la haute vallée du Zadorra pour former un couloir de quelques 80 km de long entre le bassin de Vitoria et celui de Pampelune. Au Sud des Monts de Urbasa, la vallée de l'Ega est une réplique de celle de l'Araquil. Elle s'ouvre dans un pays de brays se terminant au-dessus de la vallée de l'Ebre par les bourrelets anticlinaux de Cantabria et Codies qui ferment à laval le bassin supérieur du fleuve.

TABLEAU II : HYPSONOMETRIE DES BASSINS VERSANTS (secteur amont)

a) Répartition des surfaces par tranche d'altitude :

Bassins versants	Altitude Minimale	Altitude Maximale	0 à 200 m	200 à 500 m	500 à 1 000 m	1 000 à 1 500 m	1 500 à 2 000 m	2 000 à 2 500 m	2 500 à 3 000 m	Supr à 3 000 m	Surface totale
Zadorra	450	1 544	km2	44	1 286	33	0,4				1 364
			%	3,2	94	2,4	0,03				
Ega	289	1 436	km2	498	837	91					1 476
			%	34,9	58,6	6,4					
Total bassin supérieur	460	2 175	km2	62	4 426	1 001	54	3,6			5 546
			%	1,1	79,8	18	1	0,06			

b) Surfaces et fréquences cumulées :

Bassins versants	Altitude Minimale	Altitude Maximale	Surface totale		Surface au-dessus de 200 m	Surface au-dessus de 500 m	Surface au-dessus de 1 000m	Surface au-dessus de 1 500m	Surface au-dessus de 2 000	Surface au-dessus de 2 500	Surface au-dessus de 3000
Zadorra	450	1544	km2	1364	1364	1320	33,4	0,4			
			%	100	96,5	2,5	0,03				
Ega	280	1436	km2	1426	1426	928	91				
			%	100	65	6,4					
Total bassin supérieur	460	2175	km2	5546	5546	5485	1059	58	3,6		
			%	100	98,9	19,1	1,06	0,06			

2°/ Répartition des altitudes :

Cette rapide évocation du relief dans le bassin supérieur de l'Ebre, nous conduit à souligner ici la faible importance relative des volumes montagneux. Si la dénivellation totale entre Pena Labra et Miranda s'élève à un peu plus de 1700m, si les calcaires crétacés de la zone vasco-cantabrique donnent localement des reliefs contrastés, dans l'ensemble, pour un bassin supérieur, les altitudes sont singulièrement faibles : 1,06 % seulement du secteur se situe au-dessus de 1500 m tandis que 80 % s'étalent entre 500 et 1000 m. Les rivières qui coulent ici sont donc des rivières de moyenne montagne aux pentes peu accusées et à l'allure rarement torrentielle.

Avant de franchir, au droit de Haro, la porte qui ouvre sur le bassin moyen, jetons un regard sur le ruissellement affluent.

3°/ Le ruissellement affluent :

Pour des raisons que nous préciserons plus loin, celui-ci est relativement dense, surtout à l'amont, mais il est constitué essentiellement de ruisseaux ou de petites rivières de quelques dizaines de kilomètres de long seulement. Nous présenterons ici les quatre plus importantes à savoir :

- Le Rudron, affluent de rive droite qui conflue avec l'Ebre au kilomètre 125. Issu du seuil de la Bureba vers 1000 m d'altitude, il draine les plateaux de la Lora, recueille au passage les eaux du synclinal de Quintanaloma aux multiples sources et rejoint le fleuve après un parcours de 31km, au cours duquel il a racheté une dénivellation de 260m soit une pente de 8,3 ‰.

Sur cette même rive droite, l'Ebre reçoit l'Oca. Avec cette rivière, c'est le Système Ibérique qui commence à s'égoutter dans le fleuve. Comme ses semblables, Tiron, Najerilla, l'Oca descend du noeud orographique San Lorenzo, San Millan, Demanda, puissant bastion dressé à 1400 m au-dessus de la Bureba. C'est donc une rivière bien alimentée au départ grâce à l'altitude de ses sources (1176 m), à la pluviosité assez élevée de ce secteur, à la nature imperméable des terrains sur lesquels elle circule : schistes et quartzites paléozoïques. Mais le parcours ibérique de l'Oca est très réduit. Très vite la rivière débouche sur la Bureba, seuil très déprimé par lequel s'est faite au Tertiaire la communication entre le bassin de l'Ebre et celui du Douro. Là, la pente diminue brusquement, ce qui a permis l'édification d'un glacis de graviers siliceux, faisant la transition entre le matériel paléozoïque imperméable de la zone des sources et le matériel miocène du cours moyen, constitué essentiellement de marnes et calcaires lacustres et même de gypses, correspondant à la phase terminale du lac miocène.

C'est au prix d'une véritable trouée héroïque à travers le chafnon calcaire de Ona au cours de laquelle la pente du profil s'accroît à nouveau, que l'Oca s'échappe de la Bureba pour rejoindre le fleuve. Ainsi s'individualisent sur cette rivière trois tronçons très différents par la pente, la nature du sol et aussi l'alimentation.

Sur la rive gauche, l'Ebre draine les massifs crétacés vasco-cantabrique par l'intermédiaire de deux rivières : Le Nela et le Zadorra.

- Le Nela, est un peu à certains égards le symétrique du Rudron par rapport au fleuve. Les différentes rivières qui constituent

son réseau supérieur, Trueba en particulier, s'épanouissent en éventail sur les flancs d'une zone de crêtes gréseuses qui forment la ligne de partage des eaux avec les massifs cantabriques. Zone bien arrosée et dont les sources abondantes fournissent dès le départ une bonne alimentation. Ces rivières se dirigent ensuite vers le synclinal de Villarcayo, symétrique sur le plan structural de celui de Quintaniloma, mais bourré de sédiments continentaux, marnes, grès et conglomérats. La liaison entre les deux secteurs est assurée par des tronçons tantôt subséquents - sillon des Espinosa étiré entre la masse gréseuse au Nord et la cuesta de calcaire turonien au Sud-, tantôt conséquents à travers ces mêmes calcaires. Au sortir du synclinal du Villarcayo, le Nela butte contre la sierra calcaire de la Teste qui reporte plus à l'Est la confluence avec l'Ebre.

A Miranda, l'Ebre reçoit le principal affluent de ce bassin supérieur : le Zadorra. Trois secteurs sont à distinguer dans ce réseau du Zadorra :

- Le revers des grandes cuestas qui forment au Nord la ligne de partage des eaux est drainé par une série de rivières conséquentes, parallèles entre elles, dont les unes (rivière de Sta Engracia) sont incrustées sur le flanc sud de l'anticlinal de Bilbao, dans la couche de grès supra-urgoniens qui lui sert d'enveloppe, les autres sur le revers de l'écaille de calcaire urgonien d'Aitzgorri, dressée fièrement à 1544 m au-dessus du versant cantabrique. Ces dernières rivières, saignées par de nombreuses pertes karstiques sont souvent réduites à des cours d'eau intermittents.

- La gouttière subséquent qui court d'E en W au pied de ces reliefs est occupée par le cours supérieur du Zadorra qui re-

cueille ainsi les écoulements du secteur précédent en même temps qu'une partie des eaux infiltrées dans les calcaires intériens du synclinal perché d'Urbasa. Cette gouttière s'évase vers l'aval pour donner la belle cuvette de Vitoria, cuvette dans les flysch et marnes et qui constitue une importante zone de convergence.

- Peu après Vitoria, le Zadorra reçoit son dernier affluent important. (Si l'on excepte le rio Ayuda qui continue dans les tous derniers kilomètres de cours). La rivière dévient alors un angle droit et se dirige vers l'Ebre qu'elle rejoint après un parcours sans histoire à travers le synclinal de Miranda de Ebro.

B - LE BASSIN MOYEN -

Passé le défilé de Haro, on entre dans le bassin moyen, le "Valle Medio", dilaté jusqu'à la démesure. puisqu'il couvre 63.000 km² sur les 85.000 km² du bassin total. En effet, il s'étend de Haro jusqu'aux chaînes littorales catalanes, et de la Meseta castillane dans laquelle le Jalon pousse sa tête de source jusqu'aux sommets des Pyrénées. Trois zones se distinguent aisément dans ce vaste ensemble, différentes par leur structure, leur relief, le matériel rocheux, le style de drainage. Ce sont les bourrelets montagneux marginaux et la Dépression Centrale.

1° / Les Pyrénées : Des altitudes élevées et des pentes torrentielles :

Sur 450 km environ, du Valle de Mena au-delà duquel commen-

ce la Cordillère Cantabrique, au col de la Perche, dans les Pyrénées orientales, la crête des Pyrénées forme la limite Nord du bassin de l'Ebre et un des grands côtés de ce long triangle isocèle à l'intérieur duquel s'organise son réseau. Si l'on exclut les massifs basiques qui relèvent du bassin amont, c'est encore une façade de près de 350 km de haute montagne qui verse ainsi au fleuve par l'intermédiaire d'une série de rivières constituant les principaux affluents de l'Ebre. En réalité, il ne s'agit pas d'une simple façade, mais d'une bande montagneuse atteignant 120 km de large dans sa partie la plus dilatée au niveau de la Pallaresa. Si l'on tient compte du piémont on peut dire que les Pyrénées forment presque tout le versant de rive gauche de l'Ebre.

a) Le cadre morpho-structural :

1 - Les données de la structure

La structure des Pyrénées est trop connue pour qu'on la présente ici en détail. Qu'il nous suffise d'en rappeler les traits essentiels, susceptibles d'avoir une influence sur l'hydrologie.

Schématiquement, cette chaîne se présente comme un immense bombement dissymétrique, au versant N court et raide, 40 km de large seulement, et au versant sud beaucoup plus long - puisqu'il s'étend sur 100 à 120 km - et aux pentes moins accusées. Trois unités la constituent : une zone axiale, paléozoïque, grand pli de fond plus ou moins haché de failles et, de part et d'autre, un ensemble plissé appelé Prépyrénées. Sur le versant de l'Ebre, les Prépyrénées se divisent à leur tour en deux vastes anticlinaliens qui forment respectivement les sierras intérieures et les sierras extérieures, accolées à l'Est, mais séparées à l'Ouest par un synclinorium plus ou moins complexe et continu.

La zone axiale, paléozoïque est ici dans l'ensemble moins développée que sur le versant français. Elle débute pratiquement au Pic d'Anie, dans le bassin supérieur de l'Aragon Subordan, sous la forme d'une étroite bande où seuls sont représentés les derniers systèmes du Primaire : Dévonien, Carbonifère, Permien. Elle s'élargit provisoirement au niveau du Gallego où pointe le massif granitique de Panticosa, et disparaît ensuite de la haute vallée du rio Ara, à la haute vallée du Cinca, où la transgression des mers crétaciques a donné naissance à la zone dite du Mont Perdu? Ici, l'axe du soulèvement ne correspond plus à l'axe structural. Le Paléozoïque réapparaît au-delà du Cinca sous la forme de noyaux cristallins enchassés dans une mince bande de terrains siluriens et permien. A partir de l'Esera cette zone axiale se dilate pour atteindre son maximum de largeur au niveau de Pallaresa, où elle se développe en territoire espagnol sur 45km environ. Plus à l'Est, elle forme encore la totalité du bassin supérieur du Sègre en amont de la Seo de Urgel. A l'ouest du Pic d'Anie au contraire, cette bande se résout en une série de noyaux isolés où naissent quelques uns des affluents de l'Aragon : l'Arga et l'Erro descendent du massif de Quínto Real, lequel constitue la partie sud d'un ensemble plus important : le massif des Aldudes. L'Iraty prend sa source dans le massif du même nom, encore appelé de Mendibelza, entièrement développé en territoire français.

Le matériel qui constitue cette zone est ancien mais varié. Des batholites granitiques constituent les massifs de Panticosa aux sources du Gallégo, celui de Barrosa dans le haut bassin du Cinca, les Posets, le massif de Luchon dont seul le versant sud intéresse le bassin de l'Ebre, l'important noyau Maladetta-Encantats, celui de la haute Pallaresa, enfin les hautes plateformes des Pyrénées orientales : Carlit et Campcardos. Le Cambrien et le Silurien sont essentiellement constitués par des schistes résultant de la diagénèse des sédiments fins déposés en mer relativement profonde. Par contre, partout le Dévonien est calcaire. Il s'agit souvent d'ailleurs de calcaires coralliens très durs, très blancs, dont la couleur contraste avec les schistes sombres des étages inférieurs et supérieurs. Le Carbonifère en effet est à nouveau schisteux mais entrelardé de bancs calcaires de faible épaisseur.

La tectonique hercynienne a ployé les sédiments anciens en grands plis isoclinaux légèrement déversés vers le Sud et descendant en cascade de la crête frontière vers la dépression de l'Ebre. A. Almela et Rios (1960-62) ont démontré que la direction principale EW interférait localement avec une direction tectonique perpendiculaire à la précédente, moins importante mais donnant lieu localement le long des axes antichlinaux à des ensembles que les rivières utilisent pour gagner les niveaux inférieurs.

- Le passage du Paléozoïque au Mésozoïque se fait par l'intermédiaire du Permo-Trias qui englobe pratiquement tous les massifs anciens. Il est représenté par des couches détritiques résultant du démantèlement du jeune massif hercynien sous un climat favorable à la rubéfaction, de sorte qu'il est partout nettement repérable à sa couleur rouge et ses faciès continentaux de conglomérats ou de grès, plus rarement de schistes rouges. On le trouve en particulier sur le bord ouest du massif de Quinto Real, dans le massif d'Oroz-Betelu ou Brachyanticlinal d'Arce. On retrouve ces formations détritiques d'âge tantôt triasique, tantôt permien, dans le haut bassin de l'Aragon, sous la forme d'une bande allant de l'Aragon Subordon au col du Somport et au massif d'Ayanet à la limite du versant du Gallego. Après un hiatus entre le haut Gallego et le Mont Perdú où naît le Cinca, ces couches réapparaissent en même temps que la zone axiale qu'elles ourlent d'une lisière mince mais continue jusqu'au Sud des Albères. En sorte que, lorsqu'on parcourt les vallées pyrénéennes de l'Ersar au Sègre, on traverse obligatoirement sur quelques kilomètres, un paysage étonnant par la couleur de la roche, rouge ou violette parfois verte. Le caractère souvent salifère de ces couches explique la fréquence des sources salées et des rivières salées (équivalent de nos Salats nord pyrénéens) parfois exploitées sous la forme de véritables marais salants installés au cœur de la montagne comme à Gerri de la Sal dans la vallée de la Pallaresa.

- En avant de la zone axiale et sur une profondeur de 60 km en moyenne se développent les Prépyrénées. Cette bande montagneuse qui descend loin vers la Dépression de l'Ebre est trois fois plus large que son symétrique français, ce qui implique pour les rivières

un trajet montagnard plus long et des pentes plus faibles. Mais, comme sur le versant français, elle est modelée dans un matériel essentiellement calcaire, en particulier au niveau des Pyrénées centrales. Qu'il s'agisse des calcaires urgoniens des Nogueras, des calcaires cénomaniens du Mont Perdu et accessoirement des hautes vallées de Roncal et de Anso, ou des calcaires nummulithiques des Sierras extérieures aragonaises, on a affaire de toutes façons à un matériel dur et perméable où les phénomènes karstiques sont fréquents mais rarement très développés, car assez souvent entrecoupés de niveaux marneux plus ou moins épais parmi lesquels les marnes grises du Lutétien jouent un rôle important et dont nous aurons à reparler. A partir du Gallego et surtout de l'Aragon, en allant vers l'Ouest, les flysch éocènes relativement tendres et les grès à faciès wealdien prennent progressivement la place tenue jusqu'alors par les calcaires. Enfin, les reliefs développés au Tertiaire dans ce matériel ont été en grande partie fossilisés par les matériaux de démolition de la chaîne qui ont donné les fameux poudingues de Montserrat, équivalents espagnol de nos poudingues de Palassou. Ces formations d'âge oligocène se sont déposées en couches épaisses (1000 m environ) entre Ilobregat et Cinca où elles fossilisent encore une partie de la structure. Aux extrémités de la chaîne, le soulèvement étant moins important et l'érosion moins active, le manteau détritique diminue progressivement d'épaisseur.

Une tectonique de plis plus ou moins réguliers a affecté l'ensemble sédimentaire compris entre le Paléozoïque et la couverture détritique. Parfois même, plus précisément à l'W du Cinca, la couverture de poudingues s'est trouvée affectée par le plissement tardif des Prépyrénées de ce secteur. Ce fait mérite d'être signalé à cause de son incidence sur le tracé des cours d'eau.

2 - Dans l'ensemble, les unités morphologiques correspondent aux unités structurales.

- Les batholites granitiques de la zone axiale, dégagés de leur enveloppe de sédiments anciens forment aujourd'hui les sec-

teurs les plus élevés de la chaîne. Leur altitude moyenne se situe entre 2350 m et 2550 m. Ils portent aussi les plus hauts sommets : Maladetta, Posets, Bañáñous, Perdiguère, Schrader, Beizaberrí, Puig Pedros, Caillit. A l'exception du Mont Perdu, tous les sommets dépassant 3000 m sont granitiques. Ces altitudes ne s'abaissent au-dessous de 2000 m qu'au niveau des vallées principales, lesquelles sont profondément creusées, car étant les plus élevées, ces régions sont aussi celles qui ont connu la plus forte glaciation. Or non seulement cette empreinte glaciaire est ici plus vigoureuse, mais aussi grâce à la résistance du granit, elle est demeurée plus fraîche tant au niveau des vallées qu'au niveau des cirques. En ce qui concerne nos rivières, ces phénomènes se traduisent par des irrégularités sur le profil en long que nous étudierons plus en détail lors de la présentation des grands affluents pyrénéens. C'est aussi dans ce milieu granitique que les lacs glaciaires sont le mieux conservés. Le plancher des cirques en est parfois criblé et l'on compte dans les Pyrénées espagnoles plusieurs centaines de ces "ibones", qui sont un des charmes du paysage de la haute montagne pyrénéenne. Le seul massif des Encantats dans le haut bassin de la Pallaresa en possède à lui seul une centaine. Ces lacs se situent essentiellement entre 2000 et 2500 m et plus précisément sur le versant espagnol c'est autour de 2350 m qu'ils sont les plus nombreux. Vu leur petite taille, leur influence hydrologique n'est pas très importante et de toutes façons elle reste difficile à apprécier. Malgré cette empreinte glaciaire, le caractère essentiel de ces massifs granitiques reste la massivité. De loin, ils apparaissent en effet comme d'énormes coupelles d'où les sommets émergent avec peine. C'est que grâce à la dureté de la roche, ils ont gardé la trace des anciens cycles d'érosion

préglaciaire. De là, la multiplication des hautes plateformes, en particulier dans les Pyrénées orientales (Camporredons, Carat), à la surface desquelles l'écoulement des eaux est parfois ralenti par la faiblesse des pentes.

- Au contraire, les schistes cambriens, siluriens, et carbonifères plus tendres, ont été profondément érodés par une érosion glaciaire intense dans ce secteur où se faisait la concentration des glaces venues le plus souvent de la zone précédente. Aussi les bandes schisteuses ont-elles le plus souvent été mises en creux par rapport aux batholites de granit aussi bien que par rapport aux calcaires dévoniens ou mésozoïques. C'est pourquoi les rivières qui naissent dans ce secteur, c'est le cas des plus occidentales : Aragon Subordán, Aragon, Gallego, ont des sources relativement basses, donc des pentes assez modérées, tandis que les grandes rivières orientales issues des massifs granitiques (Cinqueta, Cinca, Ribagorzana, Pallaresa), ont des sources plus élevées et des pentes plus fortes. On remarquera que ces rivières nées sur le granit s'installent rapidement au contact schiste-granit où elles dégagent une sorte de "dépression périphérique". C'est le cas de l'Esera, du ruisseau de Vallhiverna, du Valle de Estos. Le peu de consistance des schistes explique encore que les vallées aient le plus souvent un profil en V (haute Pallaresa). Celui-ci résulte de l'action fluviale post-glaciaire. Par contre, les ombilics ont été et restent largement ouverts (Esterri de Aneu, Benasque).

- Avec les calcaires dévoniens, nous retrouvons un matériel dur, donnant des reliefs énergiques surtout lorsqu'ils sont intercalés entre des séries schisteuses plus tendres : Massif du Tobazo dans la vallée de Cinfranc, Peña Foradada dans celle du Gallego,

Moixaro et Penyès Altès dans la Sierra del Cadí.

Dans l'ensemble, cette zone axiale constitue l'essentiel de la haute montagne pyrénéenne. C'est le domaine des grandes altitudes, génératrices d'un climat particulier où le froid et la neige jouent un rôle important, c'est le domaine des fortes dénivellations par conséquent des vitesses élevées d'écoulement. Tous les grands affluents pyrénéens, à la seule exception du Cinca y prennent naissance, et restent par la suite profondément marqués par cette origine montagnarde.

- L'articulation entre la zone paléozoïque et les prépyrénées est soulignée par l'étroite bande du Permo-Trias. On sait qu'elle est constituée de roches détritiques relativement tendres, où l'érosion a découpé des amorces de dépressions longitudinales (bassin de Pont de Suert sur la Ribagorzana).

- Les Prépyrénées, développées en avant de ^{la} zone axiale, se présentent comme une interminable succession de reliefs étagés - crêtes, falaises ou reliefs plus lourds -, taillés dans des calcaires durs, plus rarement des flysch (à l'Ouest) ou même des poudingues (à l'Est) : paysage petrographique où la roche de couleur grisâtre ou blanchâtre apparaît largement entre des taches de végétation plus ou moins clairsemées. Mais comme le faisait prévoir l'étude de la structure, deux ensembles doivent être distingués :

Collées aux Pyrénées hercyniennes, et parfois plus hautes qu'elles en particulier à l'Ouest, dans les hautes vallées de l'Aragon et du Gallego où l'absence de noyau granitique a permis une inversion de relief, les Sierras intérieures dressent leurs formes hardies au-dessus de 2000 m d'altitude (Peña Telera, Peña Tendeñera,

Collarada, Cotiella, Gallinero, Turbon, Sant Gervas, Boumort, S. del Cadi) et parfois plus de 3000m(Mont Perdu).

Les Sierras Extérieures qui relaient vers le Sud les reliefs précédents culminent à des altitudes plus modestes : (S de Leyre 1371 m), Navascues (1441 m), Santo Domingo (1520 m), Loale (1595 m), La Peña (1314 m), Guara (1864 m), Sevil (1317 m), Carodella (1048 m), Montroig (1041 m), Montsec (1693 m). La forme la plus spectaculaire est ici encore la falaise calcaire verticale, correspondant soit au flanc le plus redressé (et parfois faillé) des plus dissymétriques (Montsec) soit à une coupure d'érosion (crêtes internes d'un bray, cañon ou cluse le long d'une rivière).

Les niveaux marneux, intercalés entre les séries calcaires des deux sierras ont été mis en valeur par l'érosion et constituent des dépressions longitudinales plus ou moins bien venues en fonction de la puissance du niveau. La plus importante est la "Canal de Berdun" ouverte dans les marnes éocènes du synclinorium médian, prolongée à l'Est par la Val Ancha, la vallée du rio Ara, la Conca de Tremp, à l'Ouest, par la dépression de Pampelune. Ainsi du sillon de l'Araquil à la Pallaresa, un même niveau marneux a permis l'ouverture d'un passage entre les différentes vallées transversales. Deux hiatus toutefois sont à signaler, entre le rio Ara et Sabiñanigo d'une part, entre l'Esera et la Ribagorçana d'autre part. D'autres dépressions, plus petites, souvent mal venues, s'ouvrent à différents niveaux de la chaîne. Elles hébergent généralement un petit affluent de la rivière principale, et surtout jouent un grand rôle sur le plan humain en permettant le passage d'une vallée à l'autre. Ces niveaux marneux présentent un autre intérêt sur le plan

géographique. Dans la partie Est des Pyrénées soumise à un climat méditerranéen desséchant, la rareté de la végétation favorise l'érosion et le développement de véritables bad-lands. L'exemple le plus spectaculaire est celui de la Conca de Tremp où un glissement de terrain déclenché dans la masse argileuse a anéanti l'ancien village de Puigcercos. En période de crue, ces niveaux fournissent aux rivières l'essentiel de leur charge en troubles.

Ainsi, les influences conjuguées de la structure et de l'érosion tendent à établir un certain quadrillage du relief. Mais rien de comparable ici à l'articulation des vallées alpines : dépressions longitudinales, conformes à la structure et grandes vallées transversales sont de dimensions bien différentes. La direction transversale l'emporte de loin, de sorte que dans l'organisation des reliefs c'est l'aspect "arête de poisson" qui l'emporte de loin, sur l'aspect "quadrillage".

3 - De cette rapide analyse de la structure et des reliefs nous dégagerons les traits essentiels susceptibles d'avoir une incidence sur l'hydrologie, soit directement soit indirectement, par l'intermédiaire de la climatologie, soulignons d'abord le rôle de :

1 - L'échelonnement des altitudes : Vues de la Dépression de l'Ebre, les Pyrénées se présentent comme une succession de reliefs régulièrement étagés jusqu'à la crête frontalière qui potte les plus hauts sommets et forme la ligne de partage des eaux entre Ebre et Garonne. Ainsi, les vents humides peuvent atteindre l'intérieur de la chaîne sans perdre leur potentiel hygrométrique. Il en résulte une certaine rareté des phénomènes d'abri. Certes, le fossé

cerdan effondré entre deux alignements montagneux formant écran, la haute Pallaresa en arrière du puissant massif de la Maladetta, connaissent une certaine sécheresse mais il n'y a là rien de comparable, toutes proportions gardées, avec la situation de la Maurienne par exemple dans la zone intra-alpine. Un secteur n'obéit pas à ce schéma, le haut bassin de l'Aragon où les Sierras intérieures dominent la zone axiale. Mais dans cette partie des Pyrénées où ce sont les vents de secteur Ouest qui apportent les plus grandes quantités de pluie, le fait est d'importance assez secondaire.

2 - Importance de ces altitudes : Une récapitulation¹⁴ des planimétrages effectués bassin par bassin, donne pour l'ensemble des 4 grands bassins pyrénéens, les résultats suivants consignés au bas du Tableau IIb.

On voit que les surfaces supérieures à 3000 m, celles susceptibles de porter des glaciers sont insignifiantes, tandis que la haute montagne, supérieure à 2000 m, occupe déjà 7% des bassins pyrénéens (de l'ensemble des bassins, y compris les secteurs inférieurs). Cette haute montagne est celle qui connaît un climat montagnard très accusé avec fort enneigement et forte rétention nivale. Enfin, les surfaces supérieures à 1000 m représentent 30 % des 36800 km² que représentent les bassins pyrénéens. Ces altitudes impliquent non seulement un type de climat et une végétation particulière mais aussi des pentes élevées. En effet, entre la crête frontière et la retombée des derniers chaînons sur la Dépression de l'Ebre, les dénivellations sont importantes : 2000 à 2500 m au niveau des Pyrénées centrales. Les pentes sont donc élevées, d'autant plus que les rivières ont un tracé transversal, presque toujours rectiligne

TABLEAU III : HYPSONOMETRIE DES BASSINS VERSANTS
Rivières Pyrénéennes

a) Répartition des surfaces par tranches d'altitude :

Bassins versants	Altitude Minimale	Altitude Maximale	0 à 200 m	200 à 500 m	500 à 1 000 m	1 000 à 1 500 m	1 500 à 2 000 m	2 000 à 2 500 m	2 500 à 3 000 m	Supr à 3 000 m	Surface Totale
Arga	280	1 544	km2 %	1 024 35,2	1 654 57	224 7,7	0,4 0,01				2 902
Aragon à Capatrosó	300	2 886	km2 %	1 157 19,7	3 123 53,2	1 164 19	301 5,1	112 1,9	6 0,1		5 863
Aragon au confluent	278	2 886	km2 %	2 181 25	4 777 54,5	1 387 15,8	301 3,4	112 1,2	6 0,06		8 765
Gallégo	193	3 157	km2 %	1 537 0,1	1 516 37,7	394 9,8	400 9,8	125 3,1	37,8 0,9	0,16 0,004	4 016
Cinca	71	(3 404)	km2 %	369 4,1	2 915 32,6	1 417 15,9	636 7,1	440 5	196 2,2	12 0,1	8 928
Noguera Ribagorçana	158	3 240	km2 %	8 0,4	244 12,1	908 45	386 19,1	218 10,8	73 3,1	0,34 0,01	2 018
Noguera Pallaresa	258	2 946	km2 %		124 4,6	781 27,7	663 23,5	661 23,4	161 5,7	0,4 0,01	2 814
Sègre à Serós	80	3 240	km2 %	579 4,1	3 278 23,1	4 852 34,3	2 117 14,9	1 713 12,1	389 2,7	0,75 0,005	14 130
Sègre bassin total	68	(3 404)	km2 %	948 4,1	6 193 26,8	7 794 33,7	3 534 15,3	2 349 7,1	1 651 2,5	12,75 0,05	33 068

TABLEAU III : HYPSONOMETRIE DES BASSINS VERSANTS

b) Surfaces et fréquences cumulées :

Rivières Pyrénéennes

Bassins versants	Altitude Maximale	Altitude Minimale	Surface Totale	Surface au-dessus de 200 m	Surface au-dessus de 500 m	Surface au-dessus de 1 000 m	Surface au-dessus de 1 500 m	Surface au-dessus de 2 000 m	Surface au-dessus de 2 500 m	Surface au-dessus de 3 000 m
Aragon	2 886	278	S 8 764	8 764	6 583	1 806	419	118	6	
			% 100	100	74,96	20,46	4,66	1,26	0,06	
Gallego	3 157	193	S 4 016	4 010	2 473	957	563	163	38	0,16
			% 100	99,8	61,3	23,6	13,8	4	0,9	0,004
Cinca	(3 404)	71	S 8 928	8 558	5 643	2 701	1 284	648	208	12
			% 100	95,9	63,3	30,3	14,4	7,3	2,3	0,1
Sègre	3 240	68	S 14 130	13 550	10 272	5 420	3 313	1 600	389	0,75
			% 100	95,6	72,5	38,2	23,3	11,2	2,7	0,005
Sègre-Cinca	(3 404)	68	S 23 068	22 119	15 926	8 132	4 598	2 249	597,7	12,75
			% 100	95,8	68,9	35,2	19,9	9,7	2,6	0,05
TOTAL	(3 404)	68	S 35 848	34 893	24 982	10 895	5 580	2 529	641	12,91

et conforme à la ligne de plus grande pente. Le trajet à l'intérieur de la cordillère est donc toujours très court : Pallaresa 144 km, Gallego 100 km, Cinca 105 km, et la dénivellation doit être rattrapée en peu de distance, ce qui donne des pentes de l'ordre de 20 à 25% en moyenne, avec des sections beaucoup plus déclives encore vers l'amont. En conséquence la vitesse des eaux est toujours grande et les rivières ont des allures de torrent. En période de crue, ces vitesses peuvent être de l'ordre de 4 à 5 m/s. Toutefois ces valeurs sont inférieures à celles que l'on observe sur le versant français, car le tracé à l'intérieur de la chaîne est trois fois plus long et les dénivellations moins importantes. En effet, le niveau de base des affluents de l'Ebre est toujours plus élevé que celui des affluents de la Garonne qu'il s'agisse du premier niveau de base constitué par le débouché de la montagne sur la plaine, ou des confluences avec le fleuve collecteur.

3 - Nous retiendrons encore de cette étude les caractères particuliers du réseau des vallées et ce qui en résulte pour le profil transversal de chacune d'elles. On a déjà signalé, à cause des multiples retentissements de ce phénomène, le caractère essentiellement transversal du drainage, réalisé par une série de rivières parallèles, surimposées par rapport à la structure, mais conformes à la pente générale des reliefs. Cette disposition détermine l'allure des vallées avec leur alternance de défilés souvent très étroits, au passage des affleurements de roche dure, et d'élargissements à la traversée des bandes d'argile. Nous énumérerons les principales de ces formes, et d'abord en ce qui concerne les gorges, celles de :

- Lumbier sur l'Iratí et Binies sur le Rio Esca, simples mais grandioses cluses à travers un pli anticlinal

- Boca del Infierno sur l'Aragon Subordan
- Canfranc sur l'Aragon.
- Janovas sur le rio Ara, coupant de façon fort pittores-

que l'anticlinal du même nom.

- Seira sur l'Esera, une des plus impressionnantes.
- Sopeira, Monsech, la Piñada sur la Ribagorzana.
- Collegats et Terradets sur la Pallaresa. La première ouverte dans les poudingues oligocènes que l'érosion n'a pas encore déblayés, les séries calcaires n'apparaissant qu'au fond du défilé; la seconde sciant sur une épaisseur de 500 m les calcaires du Monsech.

- Tres Pons, Oliana et Camarasa sur le Sègre.

Au passage des bandes d'argile s'ouvrent les dépressions :

- Conca de Tremp, Valle de Ager sur la Pallaresa.
- Llanos de Orgaïa et Oliana sur le Sègre
- Valle de Boltaña sur le rio Ara.

Ainsi, le modèle "glandulaire" des vallées, développé en amont sous l'effet de l'érosion glaciaire se maintient tout au long du parcours montagnard sous l'effet de la structure.

Les sections longitudinales conformes à la structure sont rares sur les grandes vallées : deux exemples seulement, localisés aux deux extrémités de la chaîne : la "Canal de Berdun" dans le bassin de l'Aragon et la Cerdagne dans celui du Sègre. Quant aux vallées affluentes longitudinales, elles sont peu importantes, courtes, simples et échelonnées le long du collecteur principal sur lequel elles se branchent perpendiculairement. Cette disposition les rend peu dangereuses en période de crise hydrologique. Beaucoup plus dangereuses sont les convergences déterminées par la réunion de deux ou plusieurs rivières transversales : Cinca-Esera par exemple ou Segre-Nogueras.

Après avoir dégagé les caractères communs aux différents bassins pyrénéens, il convient de souligner les différences entre les groupes de bassins. Celles-ci s'établissent entre l'Est et l'Ouest de la chaîne en fonction des différences de structure de part et d'autre du Cinca.

- A l'Est du Cinca, la chaîne pyrénéenne est, on l'a vu plus épaisse à cause de l'élargissement de la zone axiale et du dédoublement des Sierras Extérieures qui détachent loin vers le Sud la majestueuse falaise de Monsech et la Sierra Carbonera. Le parcours montagnard des rivières est donc ici plus long : Pallaresa : 146 km, Gallego 100 km. Cet allongement devrait entraîner une diminution de pente sur les rivières orientales. Or il n'en est rien, l'effet se trouvant annulé, par une augmentation des dénivellations (altitude des sources plus élevée et niveau de confluence plus bas).

- Parmi les causes de ces différences d'altitude, il faut évoquer, outre les influences orogéniques, celle des noyaux granitiques, plus résistants à l'érosion et par conséquent porteurs des plus hauts sommets. Or ces noyaux sont plus nombreux et plus importants à partir du bassin du Cinca.

- D'importantes différences de matériel apparaissent aussi au niveau des Prépyrénées. Le flysch tendre qui joue un si grand rôle dans le bassin de l'Aragon disparaît au-delà du Gallego où les différentes sierras sont modelées presque uniquement dans les calcaires. L'allure des vallées s'en trouve considérablement affectée et les défilés relativement rares et courts à l'Ouest, deviennent presque ininterrompus sur des rivières comme la Pallaresa

et la Ribagorzana. Dans le lit étrié de ces rivières, les vitesses en période de crue sont élevées et ce facteur s'ajoute à la rapidité des pentes évoquée ci-dessus. Ces variations de la lithologie se traduisent encore par des différences dans l'organisation du drainage. Au réseau digité du Cinca, des Nogueras, des Valiras, s'oppose l'organisation en échelle des rivières installées sur le flysch tendre du secteur situé entre l'Aragon supérieur et le bassin de Pampelune.

- Si les granits influent sur les altitudes et par conséquent les pentes, si les calcaires imposent aux profils en travers les contraintes évoquées, l'importance et le comportement des pouddings oligocènes déterminent eux, l'orientation du drainage. On verra plus loin, dans l'étude de la formation du réseau, comment, selon que la couverture discordante s'est trouvée plissée ou non, elle a déterminé un drainage conséquent et transversal (ceci à l'E du Cinca) ou bien l'installation de rivières adaptées à la structure (cours moyen de l'Aragon et du Gallego).

Ainsi, si le drainage pyrénéen revêt des caractères originaux, propres à cette montagne, chaque bassin, chaque vallée, chaque rivière présente aussi des caractères spécifiques qu'il convient à présent de souligner au cours d'une description de chacun des grands affluents pyrénéens de l'Ebre.

b) Les grands affluents pyrénéens et leur bassin :

L'ARAGON

Sur le flanc Sud du Pieds Moines, péniblement dressé à 2349m d'altitude, deux petits lacs de cirque : les "ibones" de

Astun et Estalar, donnent naissance à l'un des plus puissants affluents de l'Ebre : l'Aragon. C'est en effet de la réunion des émissaires de ces lacs, un peu en amont du Somport, que naît le ruisseau de Candanchu, en réalité l'Aragon supérieur. Origine modeste donc, tant par l'altitude (Astun 1850 m, Estalar 2075 m), que par l'importance du cours d'eau. Mais si la naissance est modeste, une abondante alimentation tout au long du cours moyen, assurée par une collection de rivières drainant une longue façade pyrénéenne, fait de l'Aragon ce bel affluent dont la contribution pour le fleuve est de toute première importance, ceci malgré les pertes et les saignées sur le cours inférieur, tracé à travers la Dépression Centrale, en plein domaine semi-aride.

Ainsi s'individualisent trois secteurs nettement différenciés par la structure, le profil de la vallée, le tracé du cours, l'organisation du réseau.

I - L'Aragon supérieur : Des sources à Jaca, une rivière modeste au caractère pyrénéen relativement atténué. Mais en fonction du relief et de la structure, trois nuances doivent être distinguées sur ce tronçon supérieur :

a - Le Bassin de réception : C'est à l'intérieur de la zone axiale, paléozoïque, que se constitue l'Aragon, par la réunion au pied du Somport, de quatre ruisseaux disposés en éventail : de l'Ouest à l'Est : Le Barranco de Rioseta, le ruisseau de Candanchu, celui de Canal Roya, le Barranco de Izas. Le tempérament hydrologique du cours supérieur, et d'ailleurs de toute la rivière va se trouver profondément marqué par les caractères de cette zone axiale où s'est incrusté le bassin de réception. Or, la bande de terrains

paléozoïques est ici beaucoup plus étroite que dans le secteur qui va de l'Esera au Sègre, et elle est surtout sensiblement plus basse du fait de sa constitution géologique : ici, pas de noyau granitique, capable de donner des reliefs énergiques comme dans le haut bassin du Gallego, mais trois bandes de terrains sédimentaires ou métamorphiques, relativement tendres, mis en creux non seulement par rapport aux masses éruptives, mais aussi par rapport aux terrains mésozoïques du secteur suivant, de sorte que ce n'est point tout à l'amont qu'il faut aller chercher les plus fortes altitudes du bassin, mais vers le milieu du cours supérieur, au niveau des Sierras Intérieures où le bloc calcaire de Peña Collarada culmine à 2886m. Au contraire en amont, la ligne de partage des eaux, taillée essentiellement dans des schistes carbonifères tendres, oscille entre 1630 m, altitude du Somport, et 2573 m dans le secteur de Las Negras, à la limite du bassin du Gallego. La répartition des surfaces par tranche d'altitude à l'intérieur du bassin, et tout le profil en long de l'Aragon vont se trouver influencés par ce niveau de sources relativement peu élevé. Ici, les surfaces supérieures à 2000 m occupent seulement 1,3 % de l'ensemble du bassin, contre 4 % dans le bassin du Gallego, 9,7 % dans celui du Cinca, 11,2 % dans celui du Sègre. A la sortie de ce secteur caractérisé en outre par ses formes "séniles", le ruisseau de Candanchu traverse rapidement la bande de conglomérats permien dans lesquels est ouvert le col du Somport, puis aborde le Dévonien, où les calcaires ont donné un relief plus énergétique (Tobazo 2059 m). Lorsque ces calcaires présentent des surfaces planes d'une certaine étendue, ils sont le siège de phénomènes karstiques intéressants qui ont été décrits par

N. Llopis Ilado (1947). Cet auteur signale en particulier la présence au sommet du Tobazo, d'une zone karstifiée de quelques km² comportant des lapiez mais aussi des dolines par lesquelles s'infiltrer une partie des eaux de pluie et de fusion. Un réseau de circulation souterraine au tracé mal connu, mais établi semble-t-il en fonction du pendage SW-NE, draine ensuite ces eaux vers les résurgences de Candanchu et de "Los Frailes" sur le versant Nord Est du massif, et le cas échéant vers le trop-plein de la base du Tobazo, situé au kilomètre 188, de la route de Somport. Signalons enfin que c'est ici, sur cette troisième bande de sédiments primaires que la convergence des quatre ruisseaux signalés plus haut, engendre véritablement l'Aragon. Cette convergence se fait semble-t-il à la faveur d'un système d'ondulations transversales dont l'interférence avec la direction principale aurait provoqué un ensellement.

Ce premier secteur, que l'on peut considérer comme le bassin de réception de la rivière est donc caractérisé par la nature sédimentaire du substratum paléozoïque, et, en fonction de cette lithologie, des reliefs peu hardis et des altitudes intérieures à celles des autres grands bassins pyrénéens. Pourtant, le paysage revêt un certain caractère alpestre, dû à la présence de formes glaciaires que l'érosion fluviale n'a pas réussi à effacer (cirques et lacs) et à une végétation de prairie et forêt d'altitude.

Quant à la vallée, elle présente dans ce secteur une série d'élargissements correspondant à des cuvettes de surcreusement glaciaire localisées au niveau des confluences de glaces. Ainsi se présentent successivement la cuvette de Candanchu, peut-être aménagée par une langue de difffluence de glaces venues du Tobazo et de Astun, la cuvette de la Cantaleira entre les confluences de Cana Roya et

Canal de Izas, enfin celle de Los Arañones. Toutes bourrées de matériaux glaciaires et fluvio-glaciaires sur lesquels la rivière a parfois divagué.

b - Les gorges de Canfranc : A quelques kilomètres au S de Los Arañones, l'Aragon aborde la bande de calcaire mésozoïque dans lesquels sont taillées les Sierras Intérieures. Là sont les reliefs les plus énergiques du bassin (Collarada 2886 m). Il s'agit pourtant d'un secteur tectoniquement affaissé par une faille de quelques 500 m de rejet, mais que l'érosion différentielle a mis en valeur aussi bien par rapport aux schistes et conglomérats paléozoïques d'amont que par rapport aux marnes et flysch éocènes d'aval. A la traversée de cette bande de roches dures, la vallée s'étrangle en une véritable gorge de Canfranc à Villanua. Elle présente là, l'aspect d'une vallée fluviale post-glaciaire profondément incisée dans la masse calcaire, un calcaire très pur, puissamment diaclasé, soumis à un climat neigeux, conditions qui ont favorisé le développement de phénomènes karstiques dont les conséquences sur l'hydrologie de l'Aragon ne sont pas sans importance. Deux secteurs sont intéressés par ces phénomènes : les massifs de Tortiella et Peña Collarada. Le premier possède un karst de montagne plus riche en lapiez et formes de dissolution superficielle qu'en formes d'absorption. Pourtant, N. Llopis Llado (1947) a montré que les anciens lacs glaciaires avaient parfois évolué en dolines dont les eaux s'écoulaient souterrainement vers un réseau profond conditionné par le niveau de base que forme le paléozoïque sous-jacent. Parmi ces lacs, il faut citer l'Ibon de Tortiella qui envoie semble-t-il ses eaux vers la resurgence de Riguavas, laquelle constitue la principale source de l'Es-

tarron. Ainsi ce karst subtilise à l'Aragon une partie des eaux tombées sur son bassin supérieur et les lui restitue par l'intermédiaire d'un des premiers affluents du bassin moyen. Le massif de Peña Telera possède un karst quelque peu différent, que N.Llopis Llado rattache au type de plateforme. Il est constitué par un système de dolines remplies de neige et se présentant comme de véritables petits névés qui s'écoulent souterrainement vers un réseau dont on connaît bien une des artères : celle qui a creusé la grotte de "Las Guixas", près de Villanua. Ce réseau restitue souterrainement à l'Aragon les eaux ainsi infiltrées, et exerce semble-t-il un effet régulateur sur l'alimentation.

Mais ce deuxième tronçon du cours supérieur est de longueur relativement réduite du fait du plongement rapide des calcaires crétacés et paléocènes des Sierras Intérieures sous les formations de flysch éocène, qui constituent à partir de Villanua la troisième partie de ce bassin amont.

c - La cuvette Aratores - Villanua : A Villanua en effet, l'horizon s'élargit, la vallée s'épanouit en un ample bassin de 5 km de long sur 2 km de large, ouverte dans le flysch éocène tendre par le front du glacier quaternaire. En effet, à l'aval de ce secteur entre Aratores et Castiello de Jaca, on voit les moraines latérales se rejoindre pour former un beau système de moraines frontales constitué par cinq arcs morainiques bien conservés. La cuvette Aratores-Villanua peut être considérée comme la cuvette terminale du glacier de l'Aragon.

Au terme de cette description du bassin amont il convient de souligner les caractères de la vallée supérieure de l'Aragon. En

ce qui concerne le tracé, on constate qu'elle n'échappe pas à la loi générale sur ce versant des Pyrénées : elle est conséquente et surimposée par rapport à la structure. Mais dans le détail la localisation a dû se faire en fonction d'ondulations transversales secondaires. Les confluences sont rares, réduites à l'arrivée de ruisseaux coulant au fond de vallées plus ou moins suspendues, ins-tallées, elles, en position subséquente et en conformité avec la structure. Ce tracé conséquent de l'Aragon qui l'oblige à recouper perpendiculairement les différentes bandes structurales, l'alter-nance au quaternaire de phases d'érosion fluviale et glaciaire ont imposé à la vallée un profil bien particulier : le profil en tra-vers est de type "ganglionnaire", caractérisé par une succession d'élargissements correspondant à des phénomènes du surcreusement glaciaire au niveau des confluences et du front glaciaire, et de gorges étroites taillées par l'érosion fluviale dans les séries calcaires. Le profil en long comporte des rapides correspondant à des vagues d'érosion régressive post-glaciaire. L'un d'eux a été repéré au niveau de "El Ruso", au pied du port de Candanchu, un autre au droit de la confluence du barranco de Izas. Dans l'ensem-ble, ce profil en long quoique torrentiel est moins tendu que sur les autres grands affluents pyrénéens, du fait de l'altitude moins élevée des sources. Du Somport à Jaca, sur 20 km de cours, la pente moyenne atteint 38,5 ‰, mais on notera des valeurs plus élevées sur le Cinca, l'Esera, la Pallaresa.

Ainsi la haute vallée de l'Aragon apparaît comme une an-cienne vallée fluviale, modifiée par l'installation au Quaternaire d'une langue de glace et retouchée par l'érosion fluviale post-

glaciaire. En cela, elle ne diffère guère de ses voisines pyrénéennes. Ce sont les conditions structurales qui, imposant à l'érosion des modalités particulières, ont déterminé l'originalité de la vallée : un profil en long moins tendu et un développement beaucoup moins important des gorges. Rien de comparable ici aux puissants défilés que nous trouverons sur les rivières de la partie est des Pyrénées. Quant à la rivière, dépourvue d'alimentation glaciaire à l'amont, d'apport affluents notables, privée par suite de phénomènes karstiques d'une quantité d'eau difficile à apprécier, elle serait à Jaca un organisme bien modeste si cette infériorité née de conditions topographiques et structurales, n'était compensée par le climat qui règne dans ce secteur des Pyrénées. Il n'en reste pas moins que c'est au long du cours moyen que l'Aragon acquiert l'essentiel de son alimentation.

II - Le secteur moyen, de Jaca à la retenue de Yesa : Une longue gouttière longitudinale vers laquelle s'égouttent 90 km de montagne pyrénéenne. Secteur essentiel pour l'alimentation de la rivière, et étonnant à bien des égards. En effet, sur 60 km l'Aragon s'est installé en position longitudinale, conformément à la structure entre l'anticlinorium des Sierras Intérieures au Nord et celui des Sierras Extérieures au Sud. Phénomène unique ou presque, dans toutes les Pyrénées espagnoles puisque toutes les grandes rivières pyrénéennes sont transversales et épigéniques (sauf le Gariege sur un court secteur). C'est que les poudingues oligocènes qui, à partir du Cinca ont fossilisé les structures antérieures et permis l'installation des rivières conformément à la pente générale, ont ici été plissés avec la série mésozoïque et éocène. Les rivières

ont dû par conséquent s'adapter à une structure d'accidents E-W., et aussi aux différences de résistance des roches. C'est le cas de l'Aragon, installé sur les marnes bartoniennes qui remplissent le grand synclinal aragonais, ouvert entre le flysch éocène au Nord, taillé en plan incliné, et les poudingues oligocènes qui constituent au Sud l'anticlinal faillé de la Peña de Ordel. Ainsi comme l'a montré L. Solé Sabaris (1942) la vallée de l'Aragon est dans ce secteur une vallée tectonique exhumée par l'érosion différentielle qui a déblayé les marnes tendres du synclinal. Dans ce matériel tendre, l'Aragon a taillé un système de terrasses étudiées par Panzer, et bien visibles à Jaca où cet auteur a distingué trois niveaux :

- un niveau supérieur, à 55-60m d'altitude relative. C'est le plus étendu. Il porte la petite ville de Jaca et se prolonge en amont où il se raccorde selon Panzer à la moraine considérée comme riessienne.

- la terrasse moyenne visible sous le parc de Jaca se situe à 15-20m et s'unit en amont à la moraine würmienne.

- la terrasse inférieure, à 7-8m, est peu développée.

Conséquence essentielle de la disposition décrite ci-dessus : l'abri constitué par la Sierra de la Peña fait de cette vallée moyenne une enclave de sècheresse où l'on cueille le thym et la lavande sur les terrasses de la rivière. Et pourtant c'est bien ici que l'Aragon acquiert cette belle abondance qui fait de lui, pour l'Ebre le plus utile des affluents. C'est que tout au long de ces 70 km de cours subséquent, la petite rivière de Jaca va récolter les eaux de quelques 90 km de montagne pyrénéenne, dans un secteur assez peu

élevé certes où rares sont les sommets atteignant 2000 m, mais abondamment arrosé sous un climat de moyenne montagne océanique. Le drainage de ce secteur des Pyrénées est assuré par une série de rivières parallèles, une dizaine d'affluents ou sous-affluents de l'Aragon, régulièrement espacés entre l'Estarron à l'Est et le rio Erro à l'Ouest. Parmi ces affluents, le Subordan vient encore de la zone axiale, de même que l'Iraty et ses affluents l'Erro et l'Urobi, descendus des noyaux paléozoïques de Mendibelza et Quinto Real. Les organismes situés entre ces deux rivières : Veral, Esca, Salazar, naissent sur le rebord calcaire des Sierras Intérieures. Ces rivières coulent d'abord au fond de sillons étroits véritables cañons sciés dans la masse calcaire, plus bas les vallées s'élargissent en traversant la bande de flysch éocène. Les plus orientales ont encore à ce niveau été aménagées par les derniers glaciers pyrénéens. Celui du Subordan ou du Valle de Hecho mesurait encore 20 km de long et descendait jusqu'à Siresa à 850 m d'altitude. Aux approches de la Canal de Berdun, les calcaires mésozoïques sous-jacents s'élèvent vers la surface et percent parfois à travers la couverture de flysch pour donner des bourrelets anticlinaux que les rivières traversent au fond de gorges étroites et pittoresques, les "Hoz" si caractéristiques de ce secteur. Ici encore, les zones calcaires sont fréquemment le siège de phénomènes karstiques qui retentissent sur le régime des différentes rivières.

Ainsi dans la vallée du Veral, à l'époque de la fonte des neiges, le débit de la rivière se trouve doublé par l'apport des résurgences qui ramènent au jour les eaux infiltrées sur le synclinal

de la Forca, tandis que la zone sud de la Forca est drainée souterrainement vers le Subordan par l'intermédiaire d'un réseau débouchant sur une résurgence située dans le lit même de la rivière. En été, cette résurgence rafraîchit considérablement la température des eaux de surface qui passent alors de 11° à 7°. Mais les phénomènes karstiques les mieux connus de ce secteur sont sans doute ceux du haut bassin de l'Irati.

Tandis que sur la rive droite une série d'affluents bien alimentés viennent régulièrement grossir la rivière, sur la rive gauche au contraire l'Aragon ne reçoit que de maigres apports fournis par le río Oncella, rivière à pente faible, issue de secteurs peu élevés et installée conformément à la structure dans l'axe du petit synclinal ouvert dans les argiles oligocènes.

Ainsi ce secteur moyen de l'Aragon est caractérisé par une alimentation abondante, mais qui est le fait du seul versant de rive droite et des seuls affluents pyrénéens. Il y a donc ici une dissymétrie fondamentale du drainage, qui est, avec le tracé longitudinal de la rivière, la caractéristique essentielle de ce cours moyen.

Le passage de la "Canal de Berdun" à la Dépression Centrale dans laquelle l'Aragon a tracé son cours inférieur, se fait au moyen d'un secteur transversal surimposé sur les anticlinaux de Yesa, Sada et Casada. Passée la cluse de Casada-Gallipienzo, l'Aragon entre dans la Dépression de l'Ebre.

LE GALLEGRO

A bien des égards, il peut être considéré comme le plus

proche parent de l'Aragon : voisinage des sources, structure des pays traversés qui impose au cours un tracé comparable, histoire géologique récente. Mais c'est un parent pauvre, dont le cours moyen est privé de tout apport affluent notable depuis sa rupture d'avec l'Aragon. Tel est pour le Gallego le prix de l'indépendance ! Ici encore, trois secteurs peuvent être distingués :

I - Le "Valle de Tena" ou vallée supérieure du Gallego, est très semblable à la vallée de Caniranc. Elle adopte le même tracé transversal, recoupe les mêmes structures, présente le même aspect de vallée glaciaire modifiée par l'érosion fluviale post-glaciaire. Pourtant la rivière qui l'occupe est déjà un peu plus rapide et un peu plus montagnarde. Sans doute, le Gallego prend-il ses sources dans un secteur très proche des sources de l'Aragon, puisqu'il descend comme la Canal Roya, du massif d'Anayet lequel culmine à 2559 m. Mais à Sallent de Gallego, il est rejoint par l'Aguas Limpias venu du versant nord du massif de Panticosa, et qui a drainé au passage la face sud du Baraïtous (3151 m). Plus long que le Gallego, plus abondant, plus permanent, l'Aguas Limpias est en réalité le vrai Gallego supérieur. Son cours est composé de deux éléments perpendiculaires : en amont un segment E-W, installé sur une bande de schistes tendres intercalés dans la masse granitique (P. BARRERE, 1952 b), puis un segment transversal, N-S, conséquent, qui recoupe les directions de pissement et les différentes bandes de terrain rencontrées sur l'Aragon supérieur : schistes carbonifères et calcaires dévonien. A El Pueyo de Jaca, le Gallego reçoit un autre affluent : le rio Caldarès, venu du massif granitique de Panticosa où il draine de hautes surfaces

situées entre 2500 et 3000 m. C'est la nature de la roche qui donne à cette rivière et à sa vallée ses caractères essentiels : altitude élevée responsable d'un fort englacement quaternaire, bonne conservation des formes glaciaires. Les cirques sont ici plus nombreux et de forme plus fraîche que sur le haut Aragon. Leur plancher est criblé de lacs, parmi lesquels celui de Bramatuero mesure 1 km de long à 51 m de profondeur. La vallée du rio Caldarès est une auge glaciaire typique accidentée par une série d'ombilius ouverts au niveau des confluences de langues glaciaires. Ainsi à l'amont, la cuvette de Bachimaña où se loge le lac de ce nom est creusée au débouché du Vallon de la Peña del Infierno ; le bassin des bains de Panticosa correspond à la confluence du ruisseau de Brazato, enfin à l'aval, la cuvette de Panticosa s'ouvre au débouché de la vallée du Caldarès sur celle du Gallego. Les gradins séparant ces ombilics ont été sciés en gorges étroites par l'érosion fluviale post-glaciaire : exemple : Hoz de Escanella.

Ainsi, le Gallego est-il constitué par la réunion de trois ruisseaux principaux : haut Gallego, Aguas Limpias, Caldarès, parmi lesquels les deux derniers ont un caractère montagnard très accusé. Ces ruisseaux sont plus longs, mieux alimentés que ceux qui constituent l'Aragon supérieur, car leur bassin de réception est plus grand, plus élevé aussi. Plusieurs sommets y dépassent 3000 m : Balaitous, Grande Fache, Peña del Infierno. Cette altitude entraîne un enneigement plus important, plus long et influe considérablement sur le régime des rivières. D'autre part, elle a déterminé au Quaternaire un englacement plus considérable, aussi le glacier du Gallego atteignait-il près de deux fois la longueur de celui de l'Aragon. Aujourd'hui, grâce au granit, l'empreinte

glaciaire est mieux conservée. C'est encore aux qualités du granit que l'on doit l'existence de vastes surfaces pratiquement dépourvues de tout sol superficiel. Celui-ci a été totalement nettoyé par la glaciation quaternaire et n'a pas eu le temps de se reconstituer. Dans ces conditions, le ruissellement des eaux sauvages est rapide, et la situation s'aggrave du fait de la forte pente des collecteurs.

Ainsi, au niveau de Panticoesa, le Gallego est mieux pourvu que l'Aragon à los Arañones, et il présente un caractère pyrénéen plus accusé

De Panticoesa à Sabiñanigo, l'histoire du Gallego est très semblable à celle de l'Aragon. Comme l'Aragon, il perce la masse des calcaires mésozoïques qui constituent les Sierras Intérieures. L'équivalent des gorges de Canfranc se retrouve donc ici entre Peña Telera (2657 m) à l'Ouest, et la Sierra Tendeñera (2851 m) à l'Est, sous la forme d'un véritable trait de sile court, mais impressionnant.

A la sortie des gorges, la rivière débouche sur l'auge de Biescas, cuvette terminale du glacier quaternaire que limite au Sud, au niveau de Senegüe, un arc morainique simple et beaucoup plus dégradé que celui de l'Aragon. Mais le niveau plus bas de cette moraine : 820 m seulement, confirme ce que faisait prévoir l'étude des altitudes en amont : une meilleure alimentation nivale au départ, qui a permis un plus ample développement du glacier. C'est dans ce secteur, entre Senegüe et Sabiñanigo que les terrasses sont le mieux conservées. L. Solé Sabaris (1953) y distingue quatre niveaux :

- un niveau supérieur dont un témoin peut être bien repéré au N de Cartirana. Il est situé à 898 m d'altitude et 120 m au-

dessus du Gallego, et formé de cailloux roulés venus de la zone axiale et des sierras marginales.

- au-dessous, une autre terrasse s'étale à 60-65 m d'altitude relative. Elle porte les villages de Cartirana, Corona de Sorbites, Solanes... et elle est constituée par une accumulation sur 2 m d'épaisseur, de matériaux polygéniques. Selon S. Sabaris, cette terrasse serait rissienne et correspondrait à la terrasse supérieure de l'Aragon.

- la troisième terrasse se situe à 820 m d'altitude et 20 m au-dessus de la rivière. On constate que cette altitude est celle de la moraine de Senegüe à laquelle elle se raccorde en effet pour former une belle terrasse fluvio-glaciaire. Son âge serait donc würmien.

- enfin aujourd'hui, le Gallego entaille faiblement un dernier niveau, post-würmien, de 6 à 7 m de dénivellation relative.

Les bassins supérieurs des deux premiers grands affluents pyrénéens de l'Ebre, présentent donc une grande parenté. On y retrouve les trois mêmes éléments : un bassin de réception situé dans la zone axiale paléozoïque, présentant un caractère montagnard accusé : caractère dû à l'altitude, au modelé glaciaire, au climat neigeux, à la végétation de prairie et forêt de type alpin. Les principales différences résident dans l'altitude plus élevée du haut bassin du Gallego, et la présence dans ce dernier, d'un noyau de roches granitiques. Le secteur médian de ce bassin supérieur est taillé dans les deux cas dans des roches calcaires, de couleur claire, que les rivières doivent scier en gorges étroites mais courtes du fait de la structure évoquée. Ces calcaires portent une végétation pauvre et le

paysage présente ici un aspect désolé que dénonce parfois la toponymie : el Romanon Pelao. Au-delà, les vallées s'ouvrent dans le flysch tendre et offrent un aspect plus accueillant. Sur des sols plus épais, les cultures ont pris place, tandis que les versants se couvrent de forêts de hêtres ou de pins.

II - Le secteur moyen : Comme l'Aragon, le Gallego a tracé son cours moyen dans le flysch éocène et les poudingues oligocènes du synclinal médian, entre Sierras Intérieures et Extérieures. Ces deux sections sont donc inscrites dans des structures semblables, et de plus, elles sont parallèles, mais elles diffèrent par un certain nombre de traits :

D'abord le cours du Gallego est plus récent, puisqu'il résulte selon Solé Sabaris du tronçonnement lors du premier interglaciaire d'un ancien Gallego-Aragon, par un petit affluent du rio Guarga. La capture a dû se produire un peu en amont de Sabinanigo, et elle a détourné la rivière de sa vallée primitive située dans le prolongement de celle de l'Aragon. Il en reste cette belle dépression nommée Val Ancha par laquelle passe la route de Sabinanigo à Jaca. Le nouveau cours est plus tourmenté, plus complexe que l'ancien. Il comprend des secteurs subséquents et conséquents, car la rivière recoupe ici de petits anticlinaux modelés dans l'oligocène. Mais la différence essentielle entre les deux cours moyens résulte dans le fait que celui-ci ne joue pas le rôle de collecteur que joue l'Aragon. Passant au Sud de la Cana de Berdun, tout l'écoulement des Pyrénées lui est subtilisé par cette rivière. Le Gallego ne reçoit donc dans ce secteur que de petits affluents comme le rio Garona, l'Asabon et surtout le Guargua, ancêtre du Gallego, rivières

comparables au rio Oncella, tant par leur position au sein de petits synclinaux oligocènes que par leur importance. Il reçoit encore le rio Basa, dont la vallée, prolongement topographique de la Val Ancha est installée dans le noyau de marnes tendres d'un anticlinal de poudingues oligocènes.

Tout ceci ne représente en fin de compte qu'un apport assez modeste, et cette différence dans l'alimentation de leurs secteurs moyens explique toute la différence entre la belle abondance de l'Aragon et la relative pauvreté du Gallego.

A la sortie du lac de retenue de Sta Maria de la Peña, la rivière décrit un angle droit pour retrouver un cours conforme à la pente générale et rejoindre la Dépression de l'Ebre. Elle doit auparavant scier en gorges très étroites les calcaires éocènes et mésozoïques qui forment les Sierras Extérieures. Une puissante série de conglomérats post-pyrénéens, repose ici en discordance sur les calcaires éocènes. Disséqués par l'érosion, ils ont donné ces curieux reliefs aux formes "Montserratinas" qui portent ici le nom de Mallos de Riglos

III - La vallée inférieure, ouverte dans la dépression de l'Ebre présente sur 80 km un tracé remarquablement rectiligne ; mais du bassin de la Peña à la confluence, elle revêt trois aspects sensiblement différents. Jusqu'à Puendeluna et même Marracos, le cours du Gallego, corseté par des séries gréseuses résistantes est rectiligne et fixé depuis longtemps dans son tracé actuel. De Gurrea de Gallego à Zuera, la dissymétrie de la vallée résulte du glissement de la rivière qui passait autrefois plus à l'Est, par Alcala de Gurrea.

A Zuera, la vallée, s'élargit et la rivière divague sur un vaste lit majeur, recupe et déplace ses méandres, et a même au cours des temps déplacé sa confluence. De part et d'autre de la rivière s'étagent cinq niveaux de terrasses dont on reparlera à propos du drainage de la Dépression Centrale.

Le réseau affluent, au long de cette vallée inférieure, est plus pauvre encore que dans le secteur moyen. Quelques barrancos venus du versant Sud des Sierras Extérieures apportent encore quelques subsides jusqu'au barrage d'Ardisa. Au-delà du rio Soton, au régime puissamment modifié par la retenue de la Sotonera, sur les 40 derniers km de cours, la rivière ne reçoit plus aucun apport en dehors des périodes de gros abats d'eau.

III - Le réseau Sègre Cinca : Avec le vaste ensemble Sègre-Cinca, les caractères des bassins versants évoluent quelque peu par rapport à ceux des bassins occidentaux : les altitudes s'élèvent, -la plupart des rivières tributaires de ce réseau descendent des secteurs les plus hauts de la chaîne des Pyrénées et le caractère de torrent montagnard est ici plus accusé - la zone axiale s'élargit, la structure se complique, et le système de drainage se modifie.

A - LE CINCA

C'est une des plus belles rivières pyrénéennes. Du Vignemale à la Maladetta, sur un front d'une trentaine de kilomètres, il draine presque tous les sommets espagnols supérieurs à 3000 m, à l'exception des trois déjà signalés qui versent au Gallego, et de



Le Cinca en
amont d'Ainsa

Le Cinca à Fraga



quatre autres sommets plus à l'Est qui s'écoulent vers la Ribagorzana (Colomo - Forno ou Beciberri), vers la Noguera de Tor (2 sommets) et vers la Pallaresa par le haut Lladore (Pic d'Estats, le dernier vers l'Est des sommets supérieurs à 3000 m). Aussi, les surfaces supérieures à 2500 m et même 2000 m sont-elles ici proportionnellement plus importantes que sur le Gallego et, à plus forte raison, l'Aragon.

Comme pour ces deux rivières, le bassin et le cours du Cinca peuvent être divisés en trois secteurs. Mais seuls les secteurs inférieures présentent une réelle parenté. Les deux autres ne pourront être comparés que deux à deux respectivement.

I - Le bassin supérieur jusqu'à la confluence du rio Ara à Ainsa. On remarque très vite les deux caractères essentiels de ce bassin : d'abord l'altitude élevée. En amont, le long de la frontière franco-espagnole, la ligne de partage des eaux oscille entre 2255 m au col de Gavarnie et 3250 m au Pic de Marboré. Le long du bassin de l'Esera, elle s'élève à 3375 m aux Posets. Si l'on tenait compte ici de cette rivière affluente du cours moyen, à laquelle nous ferons un sort étant donné son intérêt, il faudrait porter ces chiffres à 3404 m. Car le massif de la Maladetta sert en effet de ligne de partage des eaux entre le Cinca, la Garonne et la Ribagorzana. La deuxième originalité de ce haut bassin est d'ordre structural : le bassin supérieur du Cinca proprement dit s'inscrit entièrement dans les terrains crétacés de la zone dite du Mont Perdu, c'est-à-dire dans la bande des Sierras Intérieures. De même, une grande partie du bassin supérieur du Rio Ara. Or le Crétacé est constitué ici par d'épaisses couches de calcaire dur, dans lequel un puissant travail de karstification a abouti au développement de réseaux souterrains

comme ceux du Marboré et du Mont Perdu. La dureté de la roche a d'autre part permis une bonne conservation des formes glaciaires. Le cirque de Pineta, au pied du Mont Perdu, adossé à l'extrémité E de Gavarnie et W de Troumouse est un des plus beaux exemples espagnols de ce type de forme. La zone paléozoïque qui s'est effacée ici reparaît aux extrémités E et W du bassin : à l'W, le haut Ara descend du massif de Panticosa et du Vignemale, à l'Est la rivière de Barrosa et le Cinqueta naissent aussi sur le rebord des noyaux granitiques.

Le Cinca, lui, descend du lac de Pineta ou de Marboré à 2585 m d'altitude, lac alimenté par une source vauclusienne et installé sur le plancher d'un cirque supérieur, incrusté dans les flancs des Pics de Astazu, Marboré, Cilindre, Mont Perdu. Le Cinca naissant recueille ainsi les eaux de fonte du glacier du Mont Perdu et des nombreux névés accrochés aux flancs de ces sommets qui dépassent tous 3000 m d'altitude. 1290 m séparent le plancher de ce premier cirque de celui du cirque de Pineta emboîté dans le précédent. Le Cinca les franchit en 1800 m de cours, par une série de cascades, bondissant de gradin en gradin au centre d'un grandiose amphithéâtre dont les marches supérieures portent encore au cours de l'été, quelques belles plaques de neige. Au pied des gradins, le fond du cirque s'étale, à 1300 m d'altitude, très plat, nappé d'une moraine fraîche constamment gorgée d'eau car l'écoulement se fait difficilement dans ce milieu argileux aux pentes si faibles. La vallée du Cinca qui débute en réalité ici, dans ce cirque en bout du monde, adopte alors jusqu'à Bielsa une direction NW-SE, et un tracé rectiligne déterminé sans doute par une faille. Elle présente

une certaine ampleur donnant une idée de la puissance du glacier qui l'a modelée. Quant au Cinca, il court, rapide, au milieu de gros blocs très blancs, paraissant comme lessivés. A Bielsa, il reçoit la rivière de Barrosa qui draine, on l'a vu, le batholite granitique dans lequel est taillée ici la crête frontière.

Peu après la confluence, le Cinca prend la direction N-S, transversale, qui est celle des rivières pyrénéennes et qu'il n'abandonnera que de façon très épisodique au niveau de Salinas de Bielsa et plus bas, de la Fortunada, pour se conformer localement aux données de la lithologie et de la structure. Ces sections longitudinales s'accompagnent d'élargissements temporaires de la vallée et sont reliées par des gorges très étroites comme le défilé de "Las Devotas", ouvert à travers le plis de calcaire ou de flysch des Sierras Intérieures. A Salinas de Bielsa l'éventail des trois rivières qui constituent le réseau amont se complète par l'arrivée du Cinqueta, presque aussi important que le Cinca lui-même, grâce aux quatre torrents de son bassin de réception qui s'étalent radicalement à l'intérieur de la zone axiale pour drainer à l'Est le flanc occidental des Posets, au Nord le Pic Schrader (3174 m) à l'W, le versant oriental de Punta Suelza (2973 m).

Au-delà de la Fortunada, l'étreinte des Sierras Intérieures se dessine et la présence d'un niveau marneux au droit d'Ainsa explique la belle ampleur prise ici par la vallée. Le lit majeur de la rivière s'élargit lui aussi, au point d'envahir presque tout le fond de cette vallée (voir Photo). Entre les atterrissements de cailloux, parfois colonisés par la végétation, la rivière se divise en bras tortueux et anastomosés dont le tracé se modifie fréquemment.

Sur la photo du Cinca à Ainsa, on distingue sur la droite une rivière que l'on devine torrentielle et abondante. Il s'agit du rio Ara, venu du N-E du Vignemale où il naît à 2600 m d'altitude. Il a drainé au passage tout le versant S de ce haut sommet, et collecté les émissaires de la partie E du massif de Panticosa. Ce cours supérieur du rio Ara est moins célèbre que son principal affluent : la rivière d'Ordessa, venue du versant W de "Las Tres Sorores" (à savoir, Pic du Cilindro, Mont Perdu, Som de Ramond) à travers le parc national d'Ordessa situé exactement au dos du cirque de Gavarnie. Cette région doit son attrait touristique non seulement à sa végétation forestière d'une très belle venue, mais surtout au spectacle grandiose qu'elle offre au touriste : une falaise verticale de 1000 m de commandement taillée par l'érosion dans une épaisse série horizontale de calcaires mésozoïques, domine le cañon de la rivière d'Ordessa et constitue pour la vallée de Broto tout entière un extraordinaire fond de tableau. Au sommet de cette falaise s'étend une plate-forme structurale à la surface de laquelle, grâce à la faiblesse des pentes et la nature calcaire de la roche, s'engouffre une partie des eaux de pluie ou de fusion. Au niveau de Torla et surtout de Broto, le glacier quaternaire a ouvert dans le flysch un bel ombilic au milieu duquel la rivière étale un vaste lit majeur, encombré par des atterrissements de matériel grossier et hétérométrique. Après un passage plus étroit à travers la Sierra de Corona, et une nouvelle plaine intramontagnarde en amont de Janovas, due à la présence d'un niveau marneux, la traversée d'une bande de calcaires éocènes entre Janovas et Boltaña, donne lieu à d'extraordinaires gorges au fond

desquelles circule une rivière d'un vert laiteux (1).

A Boltaña, le rio Ara se retrouve sur des marnes. Il s'agit de marnes barthoniennes grises semblables à celles de Jaca, et que l'érosion dissèque en véritables bad-lands. La rivière s'attarde quelque peu dans ce bassin avant de rejoindre le Cinca à Ainsa.

Cette vallée du rio Ara présente une autre particularité; son tracé. Elle est constituée en effet d'un secteur amont, conséquent à travers la zone axiale paléozoïque et les Sierras Intérieures, et d'un secteur aval W-E longitudinal, inscrit essentiellement dans les niveaux de marnes éocènes intercalés entre Sierras Intérieures et Extérieures. Cette vallée inférieure est située dans le prolongement de la "Canal de Berdun" et de la "Val Ancha", mais topographiquement mal reliée à ces dépressions à cause des Sierras de Cancia et Oturia qui s'interposent entre le coude du rio Ara et l'ouverture de la Val Ancha à Sabiñanigo. De sorte que la route joignant les vallées du Gallego et du Ara doit aller chercher un passage un peu plus haut, par le col de Cotefablo au niveau des bassins de Biescas et Broto.

(1) L'originalité et le pittoresque de ces gorges résulte de la nature du matériel composé de strates de calcaire dur alternant avec des strates tendres, et de la façon dont la rivière coupe ici l'anticlinal de Janovas. L'érosion différentielle a mis en valeur les feuilletts durs, les transformant en une série de bandeaux qui s'élèvent verticalement du lit de la rivière, puis se recourbent et s'emboîtent les uns dans les autres. Il en résulte un paysage étrange faisant penser à quelque immense oignon pétrifié que la rivière aurait tranché.

II - Le secteur moyen du Cinca correspond à la traversée des Sierras Extérieures. Nous voyons se préciser ici un paysage qui s'est esquissé sur l'Aragon et sur le Gallego avec les gorges de Canfranc et Sta Helena, et va devenir désormais familier sur tous les grands tributaires du réseau Sègre-Cinca. Ici, une série de défilés, à travers des anticlinaux de flysch ou de calcaire sépare des secteurs un peu moins étriqués où s'étirent les lacs de retenue de Médiano et El Grado. C'est à l'aval de ce secteur que le Cinca reçoit son principal affluent, l'Esera, une des rivières les plus intéressantes des Pyrénées par les problèmes que pose son bassin amont, en ce qui concerne le tracé de la vallée et surtout le drainage.

La vallée débute à l'E de la Maladetta, dans l'angle que font la crête des Monts Maudits et celle des Salelques. Puis, contrairement à toutes les autres vallées des Pyrénées espagnoles, elle se dirige vers le N, pour peu de temps il est vrai, contourne la Maladetta pour prendre à partir de l'hospital de Benasque la direction NE-SW qu'elle convertira plus tard en un N-S classique. A vrai dire, ce tracé est conforme à la pente, puisque ici, la zone culminante se trouve rejetée au Sud par rapport à la ligne de partage des eaux entre Ebre et Garonne. Il est conforme aussi à la structure, puisque la vallée est ouverte au contact du noyau granitique de la Maladetta et des calcaires dévoniens de son enveloppe, et installée semble-t-il, sur l'emplacement d'une longue faille E-W qui jalonne ce contact. Ainsi, la haute vallée de l'Esera se présente comme une véritable dépression périphérique contribuant à mettre en valeur le massif de la Maladetta. Si l'on envisage l'ensemble du bassin amont, on constate qu'il présente une première particularité: celui d'être, au moins si l'on s'en tient aux faits de surface, le

plus haut de tous les bassins versant à l'Ebre, puisqu'on se trouve ici dans la zone de soulèvement maximum des Pyrénées, et que les quatre batholithes granitiques qui entourent le petit bassin de Benasque et semblent tous s'écouler vers lui, s'élèvent respectivement à 3404 m à la Maladetta, 3221 m au Perdiguero, 3375 m aux Posets, 3025 m à Bagüenola.

Grâce à leur altitude ces massifs ont nourri au Quaternaire de puissants glaciers responsables du modelé de détail des vallées. Aujourd'hui encore, la Maladetta est puissamment englacée et l'on s'attendrait à trouver sur l'Esera un régime glaciaire caractérisé. Or il n'en est rien, l'Esera s'étant trouvé occupé de son bassin de réception naturel par une de ces fantaisies de drainage qui ont longtemps intrigué géographes et pyrénéistes. Ce grand pionnier de la spéléologie que fut Martel considérait le problème de l'Esera comme l'une des énigmes les plus curieuses de la spéléologie. Si l'énigme de l'Esera et du trou du Toro dans lequel se perd la rivière est définitivement résolue depuis les traçages à la fluoresceïne de N. Casteret (1), il n'est pas inutile de rappeler ici les faits. Nous le ferons en suivant les indications de cet auteur, et l'excellente carte que donne N. Llopi Llado dans son guide sur la Maladetta.

I - La vallée supérieure de l'Esera jusqu'à l'hospital de Benasque:
Le problème des sources :

a- Le val de Barrancs : Comme on l'a vu, c'est au pied

(1) L'explication du phénomène avait été pressentie dès le 18ème siècle (1789) par le Pyrénéiste Ramon.

de la crête des Salenques que débute la vallée de l'Esera, dans un amphithéâtre de montagnes dont le point le plus bas au col de Salenques, se situe à 2801 m, et le plus élevé au Pic d'Aneto à 3404 m. Le ruisseau de Barrancs qui draine cet entonnoir, longe la base N-E des Monts Maudits, reçoit sur sa gauche plusieurs torrents lui apportant les eaux de fusion de trois glaciers : Tempêtes, Barrancs, et surtout glacier d'Aneto, le plus important. Au bout de 2 km 1/2 d'un cours accidenté de rapides séparés par de petits lacs où il s'assagit, le ruisseau débouche sur le plan de Agualluts où il reçoit le torrent de la Valleta de la Escaleta, dont les eaux proviennent du glacier de Mulleres, après de nombreuses péripéties : disparitions, trajets souterrains, résurgences. Après cette confluence, sur 600 m environ, le ruisseau de Barrancs circule au milieu des pâturages, dans une petite plaine intra-montagnarde à fond plat, sur laquelle il divague, étale un lit encombré de sable. Puis brusquement, à la sortie de la plaine, il rassemble ses eaux en un lit unique, franchit en cascade une barre calcaire (cascade des Agualluts) creuse sur 200 m un petit canon, puis disparaît dans un trou béant de 80 m de diamètre environ : le trou du Toro ou Forao de Agualluts selon la terminologie espagnole. L'étude géologique de cette perte a montré qu'elle était située au contact des granits et des calcaires dévoniens de la couverture, lesquels plongent ici vers le N et N-E, facilitant la circulation souterraine dans ce sens. Effectivement, les colorations faites par N. Casteret ont montré que les eaux enfouies au Forao de Agualluts réapparaissaient 4 km plus loin vers le N-E, en une grosse résurgence - les "Goüells del Joeu" (1)

(1) Ce toponyme dériverait de Janus auquel la source aurait été consacrée.

située à 1410 m d'altitude, soit 600 m plus bas, dans la petite plaine d'Artiga de Lin. Les eaux de cette résurgence, unies au collecteur du Val d'Artiga de Lin constituent la Garonne de Joeou qui, 10 km plus loin, rejoint la Garonne du Val d'Aran pour former la Garonne proprement dite.

Ainsi, le "Valle de Barrancs", vallée supérieure de l'Esera sur le plan topographique est en réalité, sur le plan hydrologique la vallée supérieure de la Garonne.

b - Du trou du Toro au plan des Etangs : il n'y a plus aujourd'hui qu'une vallée sèche où l'on distingue la trace d'anciens lits desséchés, dessinés d'abord dans la partie inférieure du plan des Aigualluts, puis gravés dans le banc de calcaire dévonien séparant le plan des Aigualluts de celui des Etangs.

c - Le troisième secteur commence avec le plan des Etangs, nouvel ombilic d'origine glaciaire, en amont duquel, à 2025 m d'altitude, au pied de la Tossa de Bargas, scintille un petit lac de 60 m de diamètre environ : le lac supérieur de Villamuerta, alimenté par une cascade et qui constitue la nouvelle origine de l'Esera depuis que l'ouverture du trou du Toro a privé cette rivière de son cours supérieur. Au bout de 1 km200 environ, la rivière rejoint 75 m plus bas le fond du plan des Etangs où elle reçoit son premier affluent : affluent d'un type très particulier puisque artificiel et semi-permanent à cause de la nature karstique de son bassin. Il s'agit du ruisseau de Paderne (ou de la Renclusa) formé de la réunion de torrents venus du glacier d'Albe et surtout du glacier de la Maladetta. Ce torrent disparaissait jadis dans un gouffre analogue à celui du Toro : le Forao de la Renclusa. Des travaux effectués en 1916 ont permis, grâce au percement d'un tunnel d'une vingtaine de mètres,

de dévier le torrent vers la vallée de l'Esera. Malgré ce, une bonne partie des eaux se perd encore et le nouveau lit est souvent à sec.

Ainsi, de tous les glaciers du versant nord de la Maladetta, glaciers qui constituent l'ensemble le plus important de toutes les Pyrénées, seuls ceux de la Maladetta et du Pic d'Albe envoient à l'Esera quelques mètres cubes d'eau de fusion, et encore de façon artificielle. Tout le reste est tributaire souterrainement de la Garonne, à l'exception du glacier des Salenques, à l'extrême Sud-Est qui verse à la Ribagorzana par le torrent des Salenques. Il ne faut donc pas s'attendre à un régime glaciaire sur le haut Esera, malgré les apparences.

Le caractère karstique du bassin se maintient jusqu'au plan de l'hospital de Benasque. Il est responsable des avatars successifs de la rivière dans ce secteur. Par trois fois en effet, celle-ci se heurte à des bancs calcaires et disparaît en profondeur pour réapparaître quelques centaines de mètres plus loin, après un parcours souterrain parfois jalonné en surface par une ligne d'entonnoirs. Plusieurs de ses affluents subissent des sorts semblables en particulier le ruisseau de la Picada, qui draine entre le Port de Benasque et celui de la Picada un petit cirque dont le plancher héberge plusieurs lacs, et le ruisseau de Pena Blanca, dont le nom évoque bien la couleur étonnamment blanche de la masse calcaire sur laquelle il circule. La multiplication des parcours souterrains, la faible pente en surface au niveau du plan des Etangs, expliquent le caractère assez peu torrentiel de cette rivière de montagne qui s'étale, divague, se divise en plusieurs bras, favorise la formation de zones marécageuses, en particulier lors de la fonte des neiges, en amont des puits karstiques incapables d'absorber la totalité de

l'écoulement.

II - Du plan de l'hospital de Benasque jusqu'à l'entrée des gorges
de Seira -

La vallée change d'aspect. C'est une belle vallée montagnarde, profonde et sauvage en amont de Benasque, malgré l'ouverture de petits bassins comme ceux du plan de los Baños, du plan del Campamento et de la Senarta, plus humanisée et plus ouverte dans les deux derniers ombilics, ceux de Benasque et de Villanova-El Run. Entre ces ombilics, la vallée se resserre et la pente s'accroît : 160 m de dénivellation sur les 180 m qui séparent le plan de l'hospital de Benasque de celui de los Baños, soit une pente de 86 ‰. On trouve des valeurs semblables encore sur le tronçon suivant, accidenté par la belle cascade de S. Ferrer.

Ainsi se dégagent les caractères de ce deuxième tronçon de la vallée de l'Esera : c'est d'abord une vallée glaciaire typique, avec sa succession d'ombilics et de verrous dont le plus spectaculaire est celui qui sépare les deux dernières cuvettes, celle de Benasque, et celle de Villanova. On notera que cette vallée glaciaire se termine à El Run pratiquement en même temps que la zone paléozoïque. Ensuite, l'aspect torrentiel est ici plus accusé qu'en amont. Les pentes sont plus fortes, et la vallée souvent plus encaissée et plus sauvage. Enfin, si à l'amont, l'Esera ne reçoit pratiquement qu'une alimentation nivale, les affluents de ce secteur apportent au contraire une quantité non négligeable d'eaux de fusion glaciaire et l'on peut pressentir une légère modification du régime à ce niveau. Modification assez extraordinaire puisqu'il n'est guère d'usage que

l'influence glaciaire s'accroît vers l'aval. Cinq torrents apportent ici cette influence : ceux de Cregüena et Vallhiverna sur la gauche en amont de Benasque, ceux de Literola, Estos et Eriste sur la droite. Les deux derniers viennent du massif de la Maladetta dont ils drainent les glaciers du versant sud, les moins importants il est vrai. Le torrent de Cregüena émissaire d'un très joli lac de montagne doit l'essentiel de son alimentation au petit glacier du même nom. Le torrent de Vallhiverna, organisme plus long, plus complexe, équivalent méridional du haut Esera par rapport au massif de la Maladetta, draine les eaux de fonte des glaciers de Coronas, Llosas, Russel. La façon dont ces torrents débouchent sur la vallée principale constitue un des attraits de cette très belle région d'accès malheureusement (ou heureusement) quelque peu acrobatique encore...
par les eaux sauvages qui y découpent des / sont sciés aujourd'hui
Les anciens gradins de confluence glaciaire / gorges de raccordement
accidentées de rapides et de cascades. Ainsi le torrent de Cregüena rachète les 500 derniers mètres de dénivellation en 1 km600 seulement, ce qui représente une pente de 31 % !

Sur la rive gauche, l'Esera reçoit d'abord le barranco de Remuñe qui draine le Sud de la crête frontalière, puis surtout, celui de Literola, venu comme le ruisseau de Cregüena d'un lac glaciaire qui recueille les eaux du glacier du Literola installé au creux de l'amphithéâtre de montagne qui va du Perdiguero à la crête de Remuñe en passant par les Pics de Crabioules. Trois kilomètres en amont de Benasque arrive le río Estos, nourri de l'écoulement des névés qui ourlent la crête frontalière particulièrement élevée ici entre le Pic de Añes Cruce (2832 m) et le Perdiguero (3170 m), et des eaux de fusion du glacier de la Paul, sur le versant nord des Posets.

La part de fusion glaciaire est donc relativement importante sur ce torrent, mais le régime de la rivière est quelque peu perturbé par des phénomènes karstiques assez comparables à ceux que nous avons trouvé sur l'Esera. En effet, la position des deux bassins est structuralement identique, à cheval sur un massif granitique (ici celui des Posets) et, sur les calcaires dévoniens de l'enveloppe sédimentaire. Ici le contact lithologique se fait le long de la crête qui sépare le cirque des Posets, lequel s'écoule vers la vallée d'Eriste, de celui des Batisiellas, ouvert sur la vallée d'Estos. Les eaux enfouies à ce niveau se dirigent souterrainement vers la vallée d'Estos, où elles réapparaissent, quelques 80cm plus bas en une série de grosses sources qui gonflent rapidement le débit de la rivière.

Enfin, un peu en aval de Benasque, l'Esera reçoit ses dernières eaux de fusion glaciaire par l'intermédiaire du torrent de Eriste, émissaire du glacier des Posets et des nombreux névés accrochés aux flancs du cirque du même nom. Nous noterons que ce cirque constitue un des plus beaux spécimens de ce type de forme de toutes les Pyrénées.

III - Au-delà du bassin de Villanova, le dernier tronçon de la vallée, à travers les différents chaînons prépyrénéens, est une succession de gorges étroites parfois très spectaculaires, comme celles de Ventamillo où la vallée n'est plus qu'un trait de scie de quelques dizaines de centimètres de large. Pas de place pour la route dans cet impressionnant cañon. Celle-ci est gravée dans la falaise même. Au sortir de ces défilés, vers Campo, on retrouve le niveau marneux repéré sur les autres rivières à des hauteurs semblables.

Mis en valeur par de petits ruisseaux, il permet un passage relativement aisé de l'Esera au Cinca. Au-delà de ce niveau marneux, la présence d'énormes masses de flysch gréseux impose à la rivière de nouvelles sections en gorge. A Graus, l'Esera reçoit le rio Isabena, rivière essentiellement subpyrénéenne, malgré un bassin de réception installé sur le flanc S du Pic de Cibollès (2731 m) et sur les derniers bancs de schistes paléozoïques, aux confins de la zone axiale. Tout le reste du bassin est constitué par de moyennes montagnes taillées dans un matériel de flysch.

Ainsi fortifié par l'arrivée de cet affluent, l'Esera rejoint le Cinca au moment où celui-ci va entrer dans son bassin inférieur.

- Le cours inférieur du Cinca

Au niveau de Barbastro, peu après la confluence, et passé le dernier chaînon calcaire de la Sierra de Carodilla, la rivière entre définitivement dans la dépression centrale. C'est alors une large et abondante rivière, qui a perdu, en partie tout au moins, son caractère torrentiel, et dessine sur son lit majeur un cours compliqué de nombreux bras enserrant de multiples îles à l'existence souvent éphémère. La vallée est du même type que celle des autres grands affluents pyrénéens, et de l'Ebre lui-même, bordée tantôt par un système de terrasses, tantôt par une falaise plus ou moins abrupte taillée soit dans les gypses, soit dans les bancs de grès ou de calcaires lacustres intercalés dans la masse des marnes continentales (v. photo). Dans le dernier tronçon entre Fraga et Mequinenza, les terrasses s'étagent sur la rive droite où elles portent de beaux vergers et la petite route qui dessert Mequinenza. Sur la rive gau-

che, une falaise que le soleil de l'après-midi colore étrangement, domine la rivière.

Au long de ce cours inférieur, le Cinca se comporte comme le plus grand rassembleur de rivières subpyrénéennes de toute la chaîne. Ceci, grâce au réseau de l'Alcanadre qui collecte pour le Cinca les eaux des ríos Flumen, Guatizamela, Isuela. Ces rivières descendent des Sierras Oscences, Sierra de Guara en particulier, et aussi des Sierras de Aineto et même Cancias situées plus avant dans la chaîne pyrénéenne. Il faut ajouter à cet apport celui du rio Vero, rivière parallèle aux précédentes, très semblable à elles dont la seule originalité est de se rendre seule au Cinca. Ces rivières drainent des bassins développés essentiellement en moyenne et basse montagne où les phénomènes karstiques sont fréquents.

Ainsi, si l'on tient compte du rio Isabena essentiellement subpyrénéen, du bassin d'Arguis à l'W sur le rio Isuela, à l'extrémité sud de la Sierra de Sis, ce sont 90 km de Prépyrénées qui versent au Cinca des eaux d'origine essentiellement pluviale, vu la faible altitude, et en partie karstique. Tout ceci constitue un facteur non négligeable du régime.

Avant de quitter le Cinca jetons un regard sur l'organisation d'ensemble de son réseau. Celui-ci nous apparaît mieux équilibré que sur le Gallego et même l'Aragon. Les apports sont échelonnés à différents niveaux et proviennent des différents étages de la montagne pyrénéenne. En amont un premier éventail, qui va du haut Ara au Cinqueta, draine la très haute montagne (plus de 2000 m) et rassemble des eaux essentiellement nivales. Le cours moyen reçoit le réseau plus simple Esera-Isabena à l'alimentation à la fois nivale

et pluviale. Le secteur aval est soutenu par l'immense éventail de l'Alcanadre et de ses affluents, venus de la moyenne montagne pyrénéenne et alimentés par conséquent surtout par des eaux de pluie.

Ainsi, le Cinca reçoit d'importants subsides tout au long de son cours, et ses débits, contrairement à ce que nous avons observé sur le Gallego sont soutenus jusqu'au bout malgré les nombreuses saignées.

LE SEGRE

Le plus long des affluents de l'Ebre - il mesure 290 km-, le plus abondant aussi, est pour ce fleuve et pour son bassin, presque un étranger, non seulement à cause de sa naissance au-delà d'une frontière politique plus ou moins artificielle (une bonne logique géographique aurait voulu qu'elle passât ici par le col de la Perche) mais aussi pour des raisons plus géographiques : son lointain bassin supérieur constitué par la Cerdagne est plus proche sur le plan structural de celui de la Têt que des autres bassins pyrénéens.

La puissante originalité de ce secteur cardan nous incite à limiter à la Seo de Urgel le bassin supérieur. Le bassin moyen très semblable à celui des autres grandes rivières pyrénéennes est constitué par la bande de Prépyrénées versant au Sègre, tandis que le cours inférieur au-delà de Balaguer s'inscrit non plus dans la Dépression Centrale, mais dans son annexe, la cuvette de Lerida.

I - Le bassin supérieur du Sègre jusqu'à la Seo de Urgel. Ainsi conçu, le bassin supérieur présente une certaine dualité



Le Segre à
Bellvert de Cerdagne



La N. Pallaresa à la sortie
du défilé de Collegats

puisque'il est constitué par deux unités structurales différentes juxtaposées : les vallées d'Andorre et le fossé cerdan. Cet ensemble est limité à l'amont d'abord par la crête frontrière qui enveloppe l'ensemble des vallées d'Andorre : crête presque infranchissable dressée à 2500-2600 m, dominée par une série de pics proches de 3000 m (Coma Pedrosa, Pic de Tristagne, Pic de Serrere) et qui ne consent nulle part à s'abaisser au-dessous des 2260 m du col de Fontargente. Le col d'Envalira, seul accès carrossable de l'Andorre à partir de la France, est perché à 2405 m, et la route venue de la vallée de l'Ariège doit se hisser péniblement jusqu'à cette altitude. A partir du Pic Negre d'Envalira, noeud orographique entre les vallées du Sègre, des Valiras et de l'Ariège, la ligne de partage des eaux qui a décrit un demi-cercle depuis le Pic Alt de la Pedrosa, repart pour un autre vaste demi-cercle qui passe par le massif du Carlit, descend vers le col de la Perche à 1581 m, escalade le Puigmal dont elle suit la crête jusqu'au rio Alp, emprunte alors la crête de la Sierra del Cadí jusqu'aux abords de la Seo de Urgel.

Cette ligne de partage des eaux englobe un ensemble de terres d'altitude élevée. Des planimétrages effectués par Mlle E. Pujol (1970) pour des tranches d'altitude de 400 m ont donné les résultats suivants :

Tranches d'altitude en m	600 - 1000	1000-1400	1400-1800	1800-2200	2200-2600	26-3000
de la S. totale	0,3	1,3	80,8	13	3	1,6

La très haute montagne occupe donc moins de place dans

ce bassin que sur le haut Cinca ou même les hautes vallées des Nogueras. Cette haute montagne est représentée ici, d'une part par les hautes plateformes du Calit et du Campcardos, -éléments morphologiques nouveaux, caractéristiques des Pyrénées orientales -, d'autre part, par les lignes de crêtes bordières : celle qui cerne les vallées d'Andorre, et localement celle qui sépare la Cerdagne des bassins du Ter et Llobregat. Les surfaces inférieures à 1000 m forment le fond de la vallée de la Valira jusqu'à Andorre la Vieille, et le fond du bassin de Cerdagne jusqu'à Bellver. Entre ces deux extrêmes, la plus grande partie du bassin (94 %) se situe entre 1400 et 2200 m, ce qui suppose un relief plus massif, moins différencié que sur les bassins occidentaux. Cette massivité, nous la retrouverons sur les Nogueras, avec toutefois une différence importante : un déplacement vers le haut de la classe modale.

Ces caractères altimétriques sont liés à la structure et à la lithologie. Ce bassin supérieur du Sègre est situé tout entier dans la zone axiale paléozoïque, constituée ici par un puissant batholite granitique qui se développe en arc de cercle du secteur Alas - le Martinet jusqu'à Carlit, et son enveloppe de terrains sédimentaires plus ou moins métamorphisés. Il s'agit ici essentiellement de schistes carbonifères et surtout siluriens ainsi que de calcaires dévoniens, le tout fortement plissé lors de l'orogénèse hercynienne.

Sur le plan hydrologique aussi bien que morphostructural, deux ensembles se partagent ici ce secteur de la zone axiale :

- les vallées d'Andorre et leur cercle de hautes crêtes.
- la Cerdagne et ses bordures montagneuses.

A - Les vallées d'Andorre : Du point de vue structural, l'en-

semble du bassin est constitué, d'une part, par la partie NW du batholite granitique déjà signalé qui forme ici le Pic dels Pessous au Sud-Est du pays, et s'avance en coin jusqu'aux abords de la confluence des deux Valiras, d'autre part, le reste du bassin est constitué par le matériel de couverture paléozoïque.

L'érosion glaciaire et fluviale (pré et post-glaciaire) a ouvert dans ce matériel de profondes vallées qui constituent la partie vitale du pays, mais respecté parfois des fragments d'anciennes surfaces d'érosion. Le Pla de Clara, étonnante surface plane, perchée à 2500 m entre Cap Ramonet et Pic Nègre, en est un bel exemple. De même le replat qui surplombe vers le Nord le Port d'Envalira à des altitudes semblables.

B - La Cerdagne

1 - La Cerdagne et ses bordures : elle se présente comme un long bassin intra-montagnard orienté grossièrement E-W, de 30 km de long de Saillagouse à Montella, sur 8 km de large, et situé entre 1200 m et 900 m d'altitude. Une petite gorge épigénique au niveau de Valltarga divise le bassin en deux parties inégales : la grande Cerdagne en amont, la petite Cerdagne en aval, autour de Bellver. Avec la Canal de Berdun, elle constitue le seul élément longitudinal d'une certaine importance dans ces Pyrénées Espagnoles.

Structuralement, elle diffère de la Canal de Berdun en ce sens qu'elle correspond à un fossé tectonique effondré au cœur de la zone paléozoïque et non comme dans le cas précédent à un synclinalorium entre Sierras Intérieures et Extérieures. Il s'agit donc ici d'un fossé tertiaire, effondré par le jeu de tout un système de failles périphériques, recoupées par des failles radiales, et

comblé à partir du milieu Miocène par des sédiments lacustres puis du matériel fluvial (P. Birot (1937)).

Une active érosion quaternaire a ensuite débarrassé ces sédiments sur quelques 250 m d'épaisseur, faisant ainsi réapparaître la dépression topographique, puis taillé un système de terrasses qui se présente sur les bords du Sègre de la façon suivante :

- Terrasse supérieure à 70 m d'altitude relative.

Bien visible de Bellver à Puigcerda.

- Terrasse moyenne à 40-45 m ou terrasse de Bolvir

- Basse terrasse : 25 m. Cette terrasse peut être repérée pratiquement le long de tout le cours d'eau.

La Cerdagne est limitée en amont par le col de la Perche ouvert à 1581 m entre haut Sègre et haut bassin de la Têt, en aval, entre le Martinet et le bassin de la Seo de Urgel ou Urgellet, par un seuil d'origine tectonique à travers lequel le Sègre s'encaisse profondément.

Le cadre montagneux de la Cerdagne est constitué par deux éléments :

- Au Nord le massif du Carlit, haute plateforme granitique portée au-dessus de 2000 m d'altitude, puissamment englacée au Quaternaire, trouée de lacs, plus ou moins nappée de produits morainiques mêlés à du matériel de décomposition de la roche en place.

Un des caractères essentiels en ce qui concerne notre propos, réside dans la relative faiblesse des pentes. Celle-ci a deux conséquences immédiates :

- un mauvais écoulement et la multiplication des

"mullères" ou zones marécageuses, favorisées par la présence du manteau de produits meubles déjà signalé qui joue le rôle d'éponge, par l'héritage glaciaire (Ces "mulleres" occupent souvent le fond d'anciens lacs), et aussi par la faiblesse de l'évaporation à ces altitudes. Ces mullères portent une végétation de prairie à linaigrettes (Eriophores) qui complète l'impression de paysage scandinave.

- L'indécision du drainage qui se manifeste parfois est une autre conséquence de cette faiblesse des pentes. Ainsi la ligne de partage des eaux entre L'Angoustrine et la Têt passe au bord du lac des Bouillouses, sur le Pla de Bones Hores, dans un secteur étonnamment plat. C'est pourquoi l'orientation du drainage a pu varier au cours des temps dans ce secteur.

Les seuls reliefs dans ce massif du Calit sont constitués par des lignes ^{de} crêtes dominant la plate-forme d'une hauteur relative de 700 à 800 m - véritables nunataks qui devaient percer l'icefield quaternaire -, et les auges glaciaires de l'Angoustrine et du Carol. La retombée du massif au-dessus de la Cerdagne se fait par un système de pentes raides, liées à la structure faillée, mais accidentées vers 1550-1650 m par un replat d'érosion très net que l'on peut suivre de Bolquère à la coupure du Carol. C'est le "niveau de la Perche" de P. Birot (1937) qui atteint son maximum d'extension entre Bolquère et Eyne au niveau du col qui lui a donné son nom. De nombreux villages y sont installés et la route qui dessert les stations touristiques de Cerdagne utilise ce palier naturel. Cette morphologie provoque, sur les petits torrents qui dégringolent du massif, des variations de pentes bien visibles sur le ruisseau de Targassone par exemple ou celui d'Egat. Nous verrons plus en dé-

tail lors de l'étude du drainage comment l'auge de l'Angoustrine s'est adaptée à ces données.

Au-delà de la profonde coupure du Carol, de part et d'autre de Ger, le système des pentes est quelque peu différent. La plate-forme du Campcardos se raccorde au fond de la Cerdagne par de longues croupes schisteuses entre lesquelles se glissent des torrents au profil un peu plus régulier.

A partir d'Isobol, les pentes se relèvent et deviennent très fortes au-dessus du bassin de Bellver où elles sont taillées dans les calcaires dévonien.

- Au Sud, l'horizon de la Cerdagne est limité par une longue ligne de reliefs qui se tient le plus souvent au-dessus de 2000 m et que dominent quelques sommets plus élevés comme la Tossa (2531 m) et le Puigmal d'Err (2910 m). Cette barrière montagnueuse venue du Canigou se poursuit presque sans interruption jusqu'au Sud de la Seo de Urgel sur un front de plus de 100 km. Seule la coupure du río Alp menant à un col de 1800 m permet de passer de la Cerdagne au bassin du Ter et sépare le massif du Puigmal à l'Est de la Sierra del Cadí à l'Ouest.

Sur le plan structural, il s'agit d'un long bloc soulevé par un double système de failles, l'un au Nord le long duquel s'est effondré le fossé Cerdan, l'autre au Sud responsable de la mise en valeur de ce bloc paléozoïque par rapport à la série de Pedraforca dans laquelle est taillé un ensemble de cuestas et hogbacks. Le matériel est schisteux à l'Est dans le Puigmal, calcaire à l'Ouest, mais plus ou moins enrobé de schistes. Les failles bordières qui limitent cet ensemble du côté Cerdan, ont donné des versants raides dans l'ensemble, mais avec des nuances dans la rai-

deur de part et d'autre du rio Alp, en fonction du matériel. Ainsi dans le massif du Puigmal à l'Est, la faille a tranché dans une masse de schistes que l'érosion a fortement attaqués par la suite. La pente est alors quelque peu atténuée. A l'Ouest au contraire, la Sierra del Cadi est constituée surtout de calcaires dévoniens plus résistants ; de plus la faille qui les tranche a rejoué après le remblaiement pliocène, et les pentes sont plus abruptes.

Ainsi de part et d'autre d'un bassin à fond plat et pente vers l'aval peu accusée, la structure faillée a déterminé la formation de versants très raides qui imposent aux cours d'eau un profil tendu et un caractère torrentiel.

Les deux unités essentielles dans ce haut bassin du Sègre : Vallées d'Andorre et Cerdagne et ses bordures, convergent vers le petit bassin de la Seo de Urgel, bassin tectonique ouvert à 667 m d'altitude dans les schistes siluriens. Le fond de cette cuvette, bourré de sédiments pontiens et d'alluvions quaternaires constitue une belle plaine agricole au milieu de laquelle a lieu la confluence du Sègre et du Valira.

2 - La lithologie : perméabilité, imperméabilité, degré de friabilité.

Un examen rapide de la carte lithologique, montre que la plus grande partie du bassin supérieur est taillée dans des milieux imperméables, qu'il s'agisse des roches granitiques et métamorphiques du Carlit, du Puigmal et des vallées d'Andorre, qu'il s'agisse des argiles miocènes du fond de la Cerdagne. Les séries perméables, malgré leur faible étendue jouent toutefois un rôle non négligeable. Trois types de séries perméables doivent être reconnues dans ce milieu.

- Les couches d'altération constituées de débris de **gélifraction quaternaires** mêlées à des dépôts morainiques. L'expérience a montré que ces couches avaient une capacité d'absorption égale à celle des sables et qu'elles pouvaient ainsi tempérer considérablement l'imperméabilité de la roche sous-jacente, au moins lorsque l'épaisseur est assez importante. Or ici cette couverture est discontinue et lorsqu'elle existe, son épaisseur est modérée. Son rôle, sans être négligeable reste donc secondaire.

- Les alluvions anciennes et modernes reposant sur les **argiles du foni** de la Cerdagne constituent un milieu favorable à la formation de **nappes** phréatiques dont les eaux alimentent une ligne de **sources jaillissant** au fond du fossé l'affleurement des argiles.

- Enfin, ~~comme~~ dans le reste de la chaîne, les calcaires dévoniens jouent ici un rôle original en matière de drainage. Rappelons que ces calcaires constituent la plus grande partie de la Sierra del Cadi et de la Sierra de Moixero (partie orientale de la Sierra del Cadi), s'étendent vers le Nord jusqu'à la vallée du Sègre dont ils forment le soubassement de Beliver jusqu'à l'Urgellet puis enfin à partir de là un appendice jusqu'au S des vallées d'Andorre. Ces calcaires, faillés, fissurés, sont éminemment perméables. Toutefois peu de phénomènes karstiques spectaculaires ont été signalés jusqu'à ce jour. Les catalogues spéléologiques en mentionnent deux seulement dans la zone des calcaires dévoniens de la Sierra del Cadi. Il s'agit d'abord et essentiellement de la grotte et de la résurgence de la Fou de Bor, un des phénomènes spéléologiques les plus intéressants de Catalogne selon M. Llopis Llado (1969).

Cette résurgence se situe sur le flanc Nord de la Sierra de Moixero, à 4 km environ de la ligne de partage des eaux. Elle résulte de la réapparition, après un trajet souterrain mal connu, des eaux infiltrées en amont, au voisinage du sommet. A 2 km environ au SW de Fou de Bor s'ouvre une autre grotte dite "les Gralles". Elle comporte deux puits en relation avec un réseau souterrain, mais la liaison entre les deux manifestations karstiques n'a pas été prouvée. Il est intéressant de noter que, comme sur le haut Esera, ces phénomènes se sont développés au contact des calcaires dévonien et des roches cristallines, représentées ici par les schistes siluriens.

3 - Le Drainage -

A l'exception des rivières d'Andorre, dans l'ensemble transversales et épigéniques comme toutes les autres grandes rivières pyrénéennes, le drainage est ici conforme à la structure. Le Sègre coule dans une dépression tectonique E-W qui a guidé son cours, tandis que ses affluents sont installés le plus souvent dans les zones de broyage déterminées par les failles radiales. C'est le cas en particulier du Querol et de l'Angoustrine au Nord, de la rivière d'Osseja et du rio Alp au Sud. On retrouve donc, à l'autre extrémité de la chaîne, un secteur de drainage longitudinal, conforme à la structure rappelant la situation dans la Canal de Berdun, et ses prolongements ; avec toutefois sur le plan structural les différences déjà énoncées, et sur le plan du drainage, une dissymétrie beaucoup moins accusée entre le versant nord et le versant sud. En effet, en ce qui concerne la densité des affluents, celle-ci est à peu près la même au Nord et au Sud. Par contre, les affluents

du versant nord, plus longs, au réseau plus complexe drainent des surfaces plus élevées, plus imperméables, plus arrosées aussi. Ce sont là autant de facteurs qui vont dans le sens d'une plus grande abondance de ces rivières venues du Nord. Nous leur réserverons donc une plus grande attention après avoir présenté rapidement les affluents descendus du Puigmal et de la Sierra del Cadi.

1 - Les affluents du versant Sud : Etant donné la proximité de la ligne de partage des eaux, ils sont tous très courts : 15 km en moyenne pour ceux du Puigmal, 9 à 10 km pour ceux de la Sierra del Cadi. Par contre leur densité est étonnamment élevée : un tous les 700 m environ. Les deux faits sont d'ailleurs liés. Sur les 8 ou 10 km qui séparent à vol d'oiseau le sommet des reliefs du collecteur de la Cerdagne, aucun réseau n'a la possibilité de s'organiser. Chaque ruisseau constitué au pied des crêtes se dirige vers le Sàgre sans qu'aucune hiérarchisation n'ait le temps de s'esquisser. De là, cette étonnante série de vallées et de torrents strictement parallèles. Autre conséquence de la proximité des sommets : la raideur des profils en long et l'aspect torrentiel de toutes ces rivières. Ainsi le ruisseau de Err, né à 2400 m d'altitude franchit les 1020 m qui le séparent de son débouché dans la plaine en une dizaine de kilomètres. Ce qui donne une pente supérieure à 10 % .

2 - Les affluents du versant Nord : Ils sont de trois types :

a) Les affluents de Cerdagne, Carol et Angoustrine, torrents montagnards à très forte pente, installés dans des vallées

glaciaires.

- Le Carol : Le plus long des affluents du Sègre supérieur après le Valira, mesure 35 km de long. Il descend du versant est de la crête joignant le Pic des Besineilles (2632 m) au Pic de Lanous (2660 m), traverse sur 2,5 km l'étang de Lancus, et décrit à partir de là un vaste "S" avant de rejoindre le Sègre à Puigcerda. Au cours de ce trajet, il draine un bassin versant assez étriqué entre les crêtes qui le séparent de l'Ariège et du réseau plus complexe de l'Angoustrine-Rahur. Le principal développement se fait du côté du Campcardos dont le versant nord s'écoule vers le Carol par le ruisseau de Campcardos. La vallée recoupe les trois bandes de matériaux qui s'étirent d'W en E au Nord de la Cerdagne. A savoir, successivement : les schistes siluriens, les granits de Campcardos-Carlit, les schistes à nouveau. C'est une vallée glaciaire typique avec sa succession de verrous particulièrement nombreux ici et d'ombilics, qui se traduit dans le profil en long par une succession de rapides et de replats. Dans l'ensemble, la pente est forte. Au sortir de l'étang de Lanous, le Carol passe de 2200 m à 1600 m en 8,5 km de cours (soit une pente de 7 %), la pente moyenne pour l'ensemble de la rivière étant de 3,7 %. D'autre part, la vallée est feutrée de produits glaciaires et fluvio-glaciaires, et l'on observe, à l'aval de Quès, deux moraines latérales qui se rejoignent au niveau de Saneja en une série d'arcs morainiques correspondant au vallum externe de la glaciation maximale.

L'Angoustrine-Rahur : Rappelons que le Rahur est le tronc commun d'une série de ruisseaux (Bena-Brangoly) dont le plus important est l'Angoustrine. Cette rivière naît dans l'Etang Noir à

2120 m d'altitude. Très vite, elle se dirige vers le Sud-Est, franchit un ressaut d'une bonne centaine de mètres, et se retrouve, vers 1950 m, sur le Pla de Bones Hores, emprunté aussi, à quelques kilomètres de là, par la Têt. Entre les deux, un interfluve à peine marqué dans la topographie. A quelques kilomètres delà, l'Angoustrine décrit un coude brusque, à la surface d'une zone marécageuse reliée à la vallée de la Têt par un couloir encombré de lacs. Manifestement, il y a là la trace d'un ancien cours de l'Angoustrine qui se dirigeait autrefois vers la Têt en empruntant un col de diffluence, et a été détournée de son cours par un bouchon morainique déposé lors du retrait du glacier de l'Angoustrine. Quatre ou cinq kilomètres plus loin, vers l'aval, l'Angoustrine reçoit le ruisseau de Mesclan d'Aygues, venu du plateau du Carlit dont il draine la plus grande partie. Il est constitué essentiellement par les émissaires d'un véritable chapelet de lacs échelonnés au pied des crêtes, à des altitudes de 2200 à 2300 m. Sa vallée très ouverte et assez peu déclive en amont, débouche à 250 m environ au-dessus de l'auge de l'Angoustrine. Le raccordement se fait par un secteur très incliné, de 2 km de long, par lequel les eaux franchissent en écumant le gradin de confluence. Comme la vallée du Carol, celle de l'Angoustrine est accidentée par une série de paliers séparés par des gradins. Sa pente moyenne est de 5,5 % donc plus accusée que sur le Carol. Mais aux irrégularités à petite échelle dues à l'influence glaciaire, s'ajoutent des irrégularités à grande échelle résultant de la structure. Ainsi, le bassin amont - jusqu'au delà du coude de capture - étalé sur la haute surface du Carlit, présente une pente relativement modeste pour un milieu montagnard : 4 %. A

l'aval, du village d'Angoustrine jusqu'au confluent avec le Sègre, la déclivité est encore plus faible : 2,5 % seulement. Mais on sait qu'un système de failles sépare ces deux unités morphologiques. La rivière les franchit perpendiculairement à leur tracé, empruntant la ligne de plus grande pente. De là, une section très rapide, à plus de 11 ‰ de pente entre les abords du ruisseau de Mesclan-d'Aygues et le village d'Angoustrine.

b - Entre le Martinet et la Seo de Urgel, le Sègre reçoit une série de rivières de longueur inégale et provenant de milieux différents. La plus importante, la rivière de Viliella, descend du noeud orographique de Pic Nègre d'Embalire, et son bassin s'inscrit presque entièrement dans le noyau granitique. La rivière qui conflue avec le Sègre au niveau d'Alas draine au contraire un secteur essentiellement calcaire.

c - Le réseau des Valira : Il est formé par la réunion de deux rivières :

- Valira del Orient, la principale.

- Valira du Nord, formée elle-même du Valira d'Ordino et du Riu d'Arinsal.

Au total ces rivières drainent 544km² dont 431 en Andorre.

- Le Valira d'Orient se constitue à l'issue d'un des plus beaux cirques glaciaires des Pyrénées Orientales : le cirque dels Pessons, par la réunion de 4 ruisseaux principaux, drainant autant de chapelets de petits lacs glaciaires incrustés dans le plancher du cirque. La rivière ainsi constituée décrit alors un

étonnant demi-cercle en sens inverse des aiguilles d'une montre, et qui fait penser au trajet de l'Esera autour du batholite granitique de la Maladetta. Comme pour l'Esera, la première section orientée S-N est conforme à la pente. Elle est installée sur le flanc nord de l'intrusion granitique des Pessons qui représente la zone de soulèvement maximum de ce secteur, et sur laquelle s'est organisé un drainage rayonnant très significatif. De Soldeu à Ransol et Canillo, sur quelques kilomètres, le cours est conforme aux données de la structure. A partir de Canillo, le Valira d'Orient, et à sa suite le Riu Valira, attirés par le niveau de base que constitue le bassin d'Urgel, se dirigent alors vers le Sud, coupant perpendiculairement ou obliquement les différentes unités structurales.

- Le Valira du Nord est formé de deux rivières nées dans des conditions semblables, au fond de cirques taillés dans les schistes. Leur cours est ici totalement surimposé par rapport à la structure.

Toutes ces rivières doivent leur profil à la glaciation. L'artère principale : Valira d'Ordino-Valira, est ainsi accidentée de cinq verrous dont le plus spectaculaire est celui de Meritxell à l'entrée duquel se trouve le sanctuaire de ce nom, bel exemple de l'art roman catalan. Bien que l'érosion fluviale post-glaciaire ait atténué ces paliers, le profil des rivières reste encore assez irrégulier, et de toute façon tendu. Ainsi du cirque des Pessons jusqu'au confluent des Valiras, la pente moyenne est de 6 %. Au-delà du dernier ombilic, entre Andorra la Vella et Sta Coloma, correspondant à la cuvette terminale du glacier quaternaire, la rivière s'encaisse une dernière fois, son profil, régi par le

niveau de base local de l'Urgellet se tend à nouveau sur quelques kilomètres, sans que la déclivité atteigne toutefois les valeurs d'amont.

C - LE SEGRE : Il naît dans le massif du Puigmal, plus précisément sur les pentes du Pic de Sàgre où la source que l'on considère comme son origine est située à 2410 m d'altitude. En réalité, la rivière se constitue au refuge de la Culasse, par la réunion d'un éventail de cinq petits torrents descendus de 2500 à 2600 m d'altitude. Le Sègre coule alors dans une étroite vallée sciée d'abord dans les schistes verdâtres de l'Ordovicien, et dont les versants en V se redressent pour donner un court mais étroit canon un peu en amont de Llo où la rivière emprunte localement une petite bande de calcaires dévonien, avant de déboucher entre Llo et Saillagouse, sur la plaine de Cerdagne. Ce premier secteur, long de 7 km environ, accuse un profil tendu. Des sources à 2400 m d'altitude, à Llo situé à 1400 m, la rivière est descendue de 1000 m, et sa pente est alors de 14 %.

A Llo, l'orientation qui était alors SE-NW, amorce un changement dont les conséquences sont considérables. La rivière entrant en Cerdagne décrit un ample demi-cercle pour prendre la direction NE-SW. Désormais son destin est fixé. C'est par l'intermédiaire de l'Ebre, et après un long et difficile parcours de 425 km environ qu'elle va gagner la Méditerranée. Une Méditerranée pourtant toute proche qu'elle aurait pu atteindre par la vallée de la Têt en moins d'une centaine de kilomètres. Il aurait suffi pour cela d'une percée à travers les 180 m de dénivellation que représente le col de la Perche. Celui-ci s'abaisse en effet à 1580 m et l'on est

à Llo à 1400 m. Il n'est pas interdit de penser que la Têt, favorisée par un niveau de base plus proche, donc un profil plus tendu, accomplira un jour ce travail. A vrai dire, dans le cas d'un comportement impérialiste de la Têt dans ce secteur, ce n'est pas le Sègre qui serait le premier touché, mais son premier affluent, la rivière d'Eyne, descendue elle aussi du Puigmal et dont on peut se demander pourquoi, étant donné sa situation, elle n'a pas été choisie comme origine du Sègre. Sans doute des considérations de débit plus ou moins intuitives ont-elles déterminé ce choix. Si l'on en juge par l'étendue respective des bassins et le pouvoir érosif des rivières, la supériorité semble bien en effet aller à la rivière de Saillagouse.

Après avoir décrit au pied du col de la Perche ce vaste demi-cercle qui souligne la retombée du niveau de la Perche, le Sègre se retrouve contre le bord N de la Cerdagne. Pour peu de temps, car il est aussitôt repoussé vers le Sud par les matériaux glaciaires et fluvio-glaciaires étalés en avant par l'Angoustrine et le Carol. Libéré de cette pression, il retrouve à nouveau l'axe du fossé où il coule, jusqu'à Montella, entre les terrasses décrites plus haut. Le seul accident de ce secteur réside dans le goulet qui, au niveau d'Isobol sépare la Grande Cerdagne du bassin de Bellver.

Le profil en long de la rivière s'est très vite adouci en quittant le massif du Puigmal. De la confluence du Rahur jusqu'à Bellver, sur 20 km, le Sègre passe de 1140 m à 1000 m. La pente n'est plus que de 7 %, ce qui représente une diminution considérable mais en valeur absolue, c'est encore un chiffre élevé.

Après le village de Montella, le Sègre entre dans la zone des calcaires dévoniens où sa vallée s'encaisse profondément entre des versants d'aspect très dissemblable : l'ubac, de couleur sombre est couvert de conifères, l'adret lorsqu'il n'est pas dressé au-dessus de la vallée en une haute muraille de calcschistes aux belles couleurs mordorées, porte une végétation typiquement méditerranéenne de chênes verts, oliviers, thym et lavande, tandis que les terrasses sont plantées de vigne. A ce rétrécissement de la vallée au niveau des calcaires correspond une nette brisure du profil en long, et une sensible augmentation de pente.

Passé Alas on entre dans l'Urgellet. Brusquement en effet, les versants s'écartent et leurs pentes s'adoucissent tandis que dans son écrin de montagnes s'épanouit la riche plaine de la Seo. Le Sègre y poursuit son chemin au ras des prêtres, entre deux lignes de saules. Peu après la Seo de Urgel, et avant que la ceinture de montagnes ne se referme à nouveau sur lui, il reçoit le Valira qui lui apporte les eaux du pays d'Andorre, et double alors son volume. Le Sègre est désormais fortifié pour aborder la partie la plus difficile de son cours.

II - Le Sègre moyen et son bassin -

Jusqu'à Camarasa, en aval de la confluence de la Pallaresa, le bassin moyen du Sègre se présente sous la forme d'une bande relativement étroite (30 à 35 km) déroulée du Nord au Sud à travers les Prépyrénées. On notera que la disposition quelque peu différente des unités structurales et par suite des unités morpho-

logiques dans les Pyrénées orientales nous a conduit à déplacer ici la limite entre bassin moyen et bassin supérieur. Nous avons cantonné le bassin supérieur dans la zone paléozoïque très développée ici, au lieu d'y inclure comme on l'a fait ailleurs les Sierras Intérieures. Le bassin moyen se développe donc sur l'ensemble des Prépyrénées et non plus seulement les Sierras Extérieures réduites d'ailleurs à leur retombée périclinale qui se réalise approximativement sur le méridien de Artesa de Sègre. A l'Est du Sègre, elles ont disparu et sont remplacées par une digitation vers le Nord de la Dépression moyenne.

A - LES ALTITUDES : Ainsi conçu, ce secteur médian du bassin du Sègre couvre une zone de moyenne montagne au N et au SW, une zone de hautes collines au SE. On notera que si le relief est moins élevé que dans les régions structuralement semblables des autres bassins - les maxima atteignant 2070 m à la Sierra de Boumort, 2385 m à la Sierra Pelada, 2647 m sur la Sierra del Cadí, alors que les Sierras Intérieures s'élèvent ailleurs à 2800-2900 m - le décalage des limites fait que ce bassin moyen est plus montagneux que sur les autres rivières. La proximité de la Méditerranée aidant, on pourrait en attendre quelque avantage pluviométrique. Il faudrait pour cela un étagement régulier des reliefs vers la mer. Or il n'en est rien, un bourrelet plus élevé s'interposant entre la Méditerranée et le bassin du Sègre. De plus, les plus hauts reliefs sont à l'Est du Sègre et tournent par conséquent leur côté au vent vers le río Cardener.

B - LE MATERIEL : Deux types de roches se partagent l'essentiel du bassin : les calcaires surtout mésozoïques et les marnes oligocènes plus ou moins armées de bancs de grès de la Dépression de l'Ebre.

Les calcaires constituent toute la partie amont de ce bassin moyen, jusqu'à la sortie du bassin d'Oliana. Ils sont crétacés et surtout aptiens, très accessoirement jurassiques. Après une interruption à la hauteur du bassin de Tremp ils réapparaissent dans le Monsec, la Sierra de S. Mamet et la S. Carbonera. Sous un climat méditerranéen que les altitudes ne parviennent plus à tempérer vraiment étant donné leur modestie, ces roches fissurées, incapables de retenir l'humidité, ne portent plus qu'une végétation très maigre et les reliefs prennent souvent cet aspect dénudé, sauvage que souligne la toponymie : Tossa Pelada.

De la Riera Salada, au Sud du bassin d'Oliana, jusqu'à la confluence de la Pallaresa, toute la rive gauche est taillée dans les marnes continentales de la Dépression moyenne. Matériel tendre que les rivières dissèquent aisément et assez imperméable pour que, malgré le climat, le petit réseau du Llobregos puisse s'organiser.

Localement les poudingues oligocènes intercalent entre les crêtes calcaires leurs étranges paysages. C'est le cas le long d'une étroite bande venue des bords du bassin de Tremp et se dirigeant vers Berga en soulignant la retombée des Sierras Intérieures sur la Dépression. Ils constituent en particulier la S. de Oliana qui culmine à 1027 m.

C - LE DRAINAGE : Comme dans le bassin supérieur, l'organisation du drainage est tout à fait rudimentaire. Aucun réseau organisé ne verse au Sègre tout au long de ces 95 km, à l'exception de la Pallaresa tout à l'aval, et que nous envisagerons avec la Ribagorzana, et du modeste Llobregos. Peu de réseaux hiérarchisés donc, mais une série d'affluents simples et courts, de 10 à 30 km de long, perpendiculaires au cours et échelonnés le long de celui-ci tous les 4 ou 5 km d'abord, 7 ou 8 km ensuite, avec deux longs secteurs dépourvus de tout apport valable : le secteur d'Oliana sur 20 km, celui de Camarasa long d'une douzaine de kilomètres. Parmi les affluents de ce secteur, deux méritent quelque attention : la Vansa, venue du versant sud de la Sierra del Cadí, par un cañon de 300 m de profondeur extrêmement étroit, creusé dans la masse calcaire, et le Llobregos, seule rivière ayant réussi, grâce à la nature des terrains sur lesquels il circule, et aussi à un élargissement du bassin du Sègre dans ce secteur, à organiser un petit réseau.

Le Sègre qui collecte ces diverses rivières coule ici dans une vallée comparable à toutes celles rencontrées depuis le Cinca. Même orientation N-S au moins jusqu'à Fons, même succession de défilés et d'élargissements temporaires. Ici les défilés commencent avec la traversée de la Sierra de la Prada, taillée dans les calcaires aptiens, traversée qui donne lieu à de pittoresques gorges en amont d'Orgaño.

A Orgaño, la vallée s'ouvre sur un petit bassin encaissé dans un niveau marneux. Puis, entre Coscollet et la Sierra del Turp, les versants se rapprochent à nouveau, obligeant les eaux de la retenue d'Oliana à s'étirer en une longue et sinueuse nappe

d'eau. A partir d'Oliana, l'étrointe se desserre dans les marnes marines d'abord, puis dans les sédiments tendres de la Dépression. Dès son entrée dans les marnes de la cuvette centrale, le Sègre amorce un changement de direction qui devient effectif au niveau de Pons. Entre cette localité et la confluence de la Pallaresa, il circule en effet d'E en W d'abord à travers les collines de marnes miocènes, dessinant alors quelques méandres bien venus comme celui de Pons, puis il coupe en un extraordinaire cañon de 10 km de long nettement surimposé, la Sierra Carbonera, dernier pli appartenant aux Sierras Extérieures. C'est à l'intérieur de ce cañon qu'il reçoit la Pallaresa et décrit le coude qui va le remettre dans la direction de Lerida et de la vallée de l'Ebre.

La pente au long de ce secteur moyen est assez irrégulière - sa valeur moyenne : 4 ‰ représente une diminution considérable par rapport à la situation en amont. Mais de nombreuses irrégularités accidentent le profil en long. On observe plusieurs ruptures de pente, après la confluence du Valira par exemple, à l'entrée de gorges d'Organa, à la traversée de la Sierra Carbonera. Par contre le barrage d'Oliana est installé sur un seuil à très faible pente. Dans l'ensemble, deux secteurs sont à considérer : un secteur amont, de la Seo de Urgel au barrage d'Oliana, qui représente la traversée des Sierras Intérieures ; sur 42 km, la pente moyenne est de 5,5 ‰ ; un secteur aval, dans le bassin tertiaire où la pente n'est plus que de 3, 3 ‰.

III - LE SEGRE INFERIEUR ET SON BASSIN -

A - Le bassin inférieur du Sègre se développe tout

entier à l'intérieur de la dépression Centrale, et plus précisément à l'aval de cette dépression. C'est à dire que l'on va trouver ici des altitudes faibles et des pentes peu accusées. Les altitudes maximales se localisent sur la ligne de partage des eaux orientale et méridionale, là où les sédiments de remplissage de la cuvette s'appuient sur la cordillère catalane ou simplement aux approches de celle-ci. Depuis les sources du Llobregos jusqu'au col utilisé par la route Lerida-Tarragone, cette ligne de partage des eaux court entre 600 et 700 m, s'élevant localement à 931 m à Pinos, à la faveur d'un petit anticlinal situé dans le haut bassin du Llobregos, donc encore à quelques kilomètres en amont des limites assignées à ce bassin inférieur. Au-delà de la coupure signalée plus haut, la limite du bassin monte brusquement à 1021 m aux approches du massif paléozoïque de Prades, mais ne se maintient au-dessus de 800 m que pendant une dizaine de kilomètres. Très vite les altitudes tombent à 300 ou 400 m au voisinage de la confluence Ebre-Segre. A l'ouest de cette confluence, l'interfluve Segre-Garça est constitué par une plate-forme de 250 à 350 m, à peine bombée où la ligne de partage des eaux se trace difficilement.

A l'intérieur de ce cadre bien étroitement délimité par une topographie assez peu contrastée, prédomine une morphologie de plaines et plates-formes étagées. Au-dessus de la vallée située vers 200 m d'altitude, les couches dures du remplissage tertiaire sous-tendent deux surfaces structurales: les "Llacs" de Lerida et Urgel situés à 400 m d'altitude, dominés vers le S-E de quelques 200 m de dénivellation par la plate-forme de la Segarra.

B - Le matériel sur lequel s'organise le drainage est ici constitué par un soubassement de molasses, marnes, argiles oligocènes, parfois entrelardées, en particulier sur la bordure est et sud est, de couches de calcaires lacustres qui se traduisent sur les versants par un brusque raidissement de la pente. Le tout est localement recouvert, en particulier autour de Lerida et sur l'interfluve Segre Cinca, de dépôts de piémont constitués par des graviers perméables. Ici, encore, mention doit être faite des poudingues oligocènes qui ourlent les bords de la Dépression. Ces poudingues, accolés aux massifs cristallins de Prades et du Priorato jouent un rôle important dans l'hydrologie de ce secteur. Le contact entre ces formations et les terrains imperméables du bassin est jalonné par une série de sources donnant naissance à autant de ruisseaux parallèles qui, lorsqu'ils ne sont pas à sec, vont porter leurs eaux au Sègre. Le plus important d'entre eux naît vers 1000m d'altitude, sur la bordure du massif de Prades. Son nom très évocateur de rio Sed (la Soif) nous rappelle que les conditions climatiques très sèches de ce secteur sont peu favorables au développement d'organismes pérennes. Et de fait, les ponctions pratiquées pour assurer l'irrigation aidant, la plupart des lits de rivières ne sont occupés que de façon plus ou moins épisodique.

Dans l'ensemble, le ruissellement affluent de ce bassin aval est très dissymétrique. D'un côté, une série de ruisseaux parallèles, organismes simples de 50 à 70 km de long, venus d'une ligne de partage des eaux peu élevée. Ces ruisseaux sont on l'a vu, le plus souvent intermittents. De l'autre, deux grandes rivières rejoignent successivement le Sègre à 108 km et 66 km du confluent,

distantes par conséquent de 40 km l'une de l'autre. Leur influence est capitale pour la rivière qui nous occupe. Il s'agit des deux Nogueras : La Noguera Pallaresa et la Noguera Ribagorzana.

LE RESEAU DES NOGUERAS

Pallaresa et Ribagorzana représentent à elles seules 4832 km² de bassin versant, presque autant que tout le bassin supérieur de l'Ebre, 30 % du bassin total du Sègre (Cinca compris). C'est dire l'importance de ces deux rivières dans l'hydrologie du Sègre et même de l'Ebre inférieur. Deux caractères paraissent devoir être mis en valeur : l'altitude élevée des bassins et l'importance des dénivellations, donc des pentes.

En ce qui concerne les altitudes, le plus remarquable est moins l'altitude moyenne des bassins, comparable à celle de l'Esera par exemple que l'importance absolue et relative des tranches d'altitude les plus élevées. Ainsi pour l'ensemble des Nogueras, les surfaces supérieures à 2000 m s'étalent sur 838 km² soit 17 % du bassin. Pour le Cinca les valeurs correspondantes étaient seulement de 648 km² et 7 % pour le haut Sègre : 762 km² et 8 %. Les surfaces supérieures à 2500 m couvrent respectivement 206 km² sur le Cinca, 155 sur le haut Sègre et 234 sur les Nogueras. De tous les bassins pyrénéens de quelque importance, ceux des Nogueras sont donc les plus élevés. Ce caractère, essentiel en ce qui nous concerne, résulte de plusieurs faits :

- La longueur et l'altitude de la portion de barrière pyrénéenne versant à ces rivières. Les Nogueras assurent en effet le drainage d'un front de 65 km de hautes Pyrénées, entre le Pic

d'Aneto (3404 m) à l'Ouest et la Coma Pedrosa (2946 m) à l'Est. Leur haut bassin fait donc partie, avec celui de l'Esera, de la zone de soulèvement maximum de la chaîne. On y trouve en effet quelques uns des plus hauts sommets des Pyrénées : Crête des Tempêtes, prolongée par celle des Salenques, au total 2 km de reliefs portés au-dessus de 3000 m, Tuc de Mulleres (3010 m), Besiberri ou Colomo Forno (3030 m) Pic d'Estats (3115 m). Les points les plus bas de la crête frontrière se situent encore à 2424 m au port de Viella et 2070 m au col de Bonaigua. Ces hautes altitudes autorisent quelques organismes glaciaires : glacier de Mulleres dont la plus grande partie verse à la Garonne par la Valleta de la Escaleta, mais qui déborde sur le bassin du ruisseau des Salenques tributaire de la Ribagorzana, et surtout glacier des Salenques situé tout entier dans le bassin qui nous occupe, et seul glacier du versant nord de la Maladetta à dédier ses eaux à un affluent de l'Ebre.

- La principale cause de l'importance prise ici par les tranches d'altitude élevée est avant tout l'étendue des hautes surfaces. Ces hautes plate-formes granitiques, caractéristiques de la moitié est des Pyrénées sont représentées ici essentiellement par la zone du parc d'Aigues-Tortes entre Noguera de Tor et Pallaresa. Il s'agit de la partie orientale, dilatée du vaste batholite granitique de la Maladetta. Portée à près de 3000 m d'altitude, et puissamment englacée au Quaternaire, aujourd'hui trouée de lacs, elle constitue une des régions les plus pittoresques de toute la chaîne pyrénéenne. On en connaît surtout les fameuses aiguilles granitiques des Encantats, qui dominent le lac de St Maurice.

- A l'altitude élevée de la ligne de partage des eaux,

à l'importance des hautes plate-formes, il faut ajouter le rôle d'un troisième facteur d'explication de la répartition des altitudes : les caractères topographiques des bassins aval. Situées dans la zone la plus dilatée des Pyrénées, les Nogueras, malgré leur longueur voient la quasi totalité de leur bassin se développer à l'intérieur même de ^{la} zone montagneuse. La Ribagorzana n'en déborde que d'une vingtaine de kilomètres, la Pallaresa n'en sort point. Les derniers kilomètres de cours des deux rivières sont dominés par la puissante muraille calcaire du Monsech dressée à 1677 m. Nulle part ailleurs des altitudes aussi élevées ne descendent aussi loin vers l'axe de la dépression. Il en résulte dans la répartition des surfaces par tranche d'altitude de faibles pourcentages pour les tranches les plus basses.

Or ces volumes montagneux importants sont profondément incisés par les Nogueras et leurs affluents, déterminant ainsi un deuxième caractère essentiel en hydrologie :

- L'importance des dénivellations. Une puissante érosion glaciaire complétée par celle très active des torrents post-glaciaires a déterminé la formation des profondes coupures à l'intérieur des massifs. Il s'ensuit un système de pentes plus ou moins fortes, mais toujours torrentielles. Les Nogueras elles-mêmes avec 11 ‰ de pente moyenne pour la Pallaresa et 15 ‰ pour la Ribagorzana battent tous les records pour de longues rivières. Mais sur ces axes principaux se branchent des torrents aux pentes plus spectaculaires encore. C'est le cas surtout sur les versants occidentaux de la Pallaresa et orientaux de la Ribagorzana. En ce qui concerne cette dernière par exemple, on voit le puissant massif de

Besiberri s'élève d'un jet à 3030 m, au-dessus du talweg tracé ici autour de 1400 m d'altitude. La dénivellation est de 1500 m environ en 4 km de distance horizontale. Le ruisseau de Besiberri qui en descend accuse la pente extraordinaire de 130 ‰.

- Or la raideur des pentes, se trouve aggravée, en particulier à l'amont par la nature du matériel. En effet ces rivières possèdent une grande partie de leur bassin dans la zone axiale qui atteint ici son maximum de développement: Plus de la moitié du bassin de la Pallaresa, 40 % de l'ensemble des deux bassins. C'est là un pourcentage unique pour des rivières de cette importance. Or, cette zone axiale est constituée on le sait, pour l'essentiel de granits et de schistes, donc de roches à priori imperméables. Certes ce caractère peut être modifié par la présence d'un manteau de décomposition ou de produits morainiques. Nombreuses sont en effet les "Mulleres" ou tourbières en particulier sur la plate-forme d'érosion glaciaire située entre les ruisseaux des Salenques et de Llauset où elles alternent avec des lacs que les torrents n'ont pas encore réussi à combler. Malgré ce, l'imperméabilité domine dans ces hauts secteurs. Au contraire, l'aval du bassin est taillé dans la série des chaînons calcaires ou dans la masse des poudingues oligocènes. On a alors un milieu essentiellement perméable, même si localement apparaissent quelques niveaux marneux comme c'est le cas dans la "Conca de Tremp". Mais le rôle modérateur de ces bassins aval se trouve réduit du fait de leur faible extension. Coincés en effet entre les bassins du Sègre à l'Est et du Cinca à l'Ouest, ils se réduisent à d'étroits couloirs, alors qu'ils s'épanouissent beaucoup plus largement vers l'amont, à l'intérieur de la zone axiale.

- A tous ces facteurs prédisposant les bassins à un écoulement torrentiel s'ajoute une circonstance aggravante : l'organisation du réseau fait apparaître sur l'une et l'autre rivière à l'issue de leur bassin amont, de dangereuses convergences. Après 20 km de cours au long desquels elle ne reçoit qu'un seul affluent de quelque importance, le ruisseau des Salenques, la Ribagorzana, voit brusquement se réunir trois rivières de longueurs assez voisines : La Noguera de Tor, la Ribagorzana proprement dite et le Baliera.

- Sur la Pallaresa, une convergence semblable se produit aux environs de Llavorsi, après 46 km de cours. Dans ce secteur en effet se réunissent la Pallaresa, la Noguera de Cardos ou Lladoré et la Noguera de Vall Farrera. On peut imaginer la coïncidence de flots de crue au point de convergence en cas de pluie synchrone sur les hauts bassins.

Ainsi, tous les facteurs morphologiques, lithologiques, planimétriques tendent vers un même but : faire de ces rivières des organismes turbulents, capables de dangereuses colères. Or, si les Nogueras manifestent parfois des sautes d'humeur, celles-ci sont généralement sans commune mesure avec ce que l'analyse ci-dessus semblait faire prévoir. Deux causes à cela : Les caractères particuliers de la pluviométrie, en particulier dans le bassin de la Pallaresa (v. chapitre Climat) et le nombre des barrages de retenue. Depuis un certain temps déjà, ces rivières sont en effet totalement aménagées et leur cours à travers les Prépyrénées transformé en un véritable chapelet de lacs dont certains sont parmi les plus importants des Pyrénées : Tremp et Camarasa par exemple

sur la Pallaresa. Les hautes vallées elles-mêmes ainsi que les affluents (Flamisell, N. de Cardos, rio Espot) ont été à leur tour

équipées en vue de la production d'énergie hydroélectrique. Ainsi les profils ont-ils été transformés en de véritables escaliers de chute, tandis que les différents bassins contribuent à étaler les hautes eaux, en particulier les pointes de crue, neutralisant ainsi en grande partie les effets de la morphologie.

Par ces quatre puissants affluents; Cinca, Segre, et les 2 Nogueras, les Pyrénées apportent au fleuve une contribution d'intérêt primordial surtout si l'on songe aux conditions de semi-aridité qui règnent sur tout le reste du bassin moyen.

Si l'Ebre ne leur doit pas son existence il leur doit sa survie.

2°/ Le Système Ibérique : Un pays continental où prédominent les hautes surfaces :

C'est un autre système montagneux qui forme le côté sud de la dépression triangulaire de l'Ebre, bien différent des Pyrénées, si ce n'est par l'histoire géologique, tout au moins par le style tectonique et morphologique. Le Système Ibérique en effet est une zone de hautes terres dont l'altitude ne s'abaisse jamais au-dessous de 1000 m, et qui se dresse localement à plus de 2000 m (Demanda - Picos de Urbion - Sierra Cebollera - Moncayo - Sierra de Gudar). Or malgré ces altitudes relativement élevées, la place prise ici par les surfaces d'érosion, en particulier la surface

fini-pontienne fait que l'on n'a jamais l'impression d'une véritable chaîne de montagne, d'où l'appellation de "système" plutôt que de "cordillère" ou "sierra" ; sa physionomie le rattache beaucoup plus à la vieille Meseta qu'aux chaînes alpines qui lui sont à peu près contemporaines. En effet, le Système Ibérique, bien que relevant de l'orogénie alpine, appartient déjà au monde de la Meseta, tant par le style morphologique, que par la nature du substratum - le socle est souvent apparent ou tout au moins sous-jacent -, par le climat, l'hydrographie, et finalement le paysage géographique tout entier.

C'est en effet le rebord nord de la Meseta, arasé dès la fin des temps paléozoïques, basculé vers le N-E, puis recouvert par les mers mésozoïques. Mais, contrairement à ce qui se passait au Secondaire sur l'emplacement des Alpes par exemple, les mers qui avançaient ou reculaient sur le bord de la péninsule post-hercynienne, n'ont jamais été très profondes, et la sédimentation a rarement atteint de très grandes épaisseurs. Lorsque c'est le cas, localement, on constate que les sédiments ont toujours un caractère épicontinental, voire continental - Wealdien de la Sierra de Cameros, et non géosynclinal.

Les conditions de sédimentation qui lussent souvent le socle à proximité de la surface, l'éloignement des centres de poussée, ont imposé ici un style tectonique particulier : une orogénie cassante a fracturé et démembré en bloc le socle et sa couverture, tandis que celle-ci était de plus affectée de plissements plus ou moins indépendants des mouvements du substratum. Entre les blocs soulevés, des bassins se sont effondrés qui, au Tertiaire (Miocène), ont été bourrés de sédiments détritiques continentaux : bassin d'Ariza, de Calatayud, de Teruel.

L'érosion s'exerçant dans ce contexte a contribué à différencier les secteurs. Là où la couverture était mince ou bien le socle fortement soulevé, celui-ci a été décapé de sa couverture secondaire et les formations anciennes : schistes et quartzites

paléozoïques ont été exhumées. Ailleurs, l'érosion a sculpté dans les sédiments mésozoïques, des sierras à l'aspect sauvage.

Ces différences dans les conditions de sédimentation, les styles tectoniques et le jeu de l'érosion font que, de la Sierra de la Demanda au NW, à la Sierra de Gudar et au Maestrazgo au SE, trois unités peuvent être distinguées :

a) Les trois unités physiques :

1 - De la Bureba au Moncayo : Le Système Ibérique acquiert ici sa plus grande vigueur. Il culmine à 2313 m au Moncayo, dépasse encore 2000 m et même 2200 m en plusieurs autres points : San Lorenzo (2265 m), Sierra de Urbion (2228 m). Ce secteur amont du Système Ibérique est formé des fragments de la couverture mésozoïque et de morceaux de socle incorporés au soulèvement tertiaire, le tout dressé hardiment au-dessus de la dépression de l'Ebre, poussé vers le Nord, et chevauchant nettement les sédiments tertiaires. L'ensemble se présente comme un gigantesque relief résiduel ayant échappé au cycle d'érosion fini-pontien : relief dissymétrique, abrupt vers le Nord, en pente plus douce vers la Meseta. Il s'ensuit une semblable dissymétrie des rivières, courtes et à profil tendu pour les affluents de l'Ebre, plus longues et à pente plus douce sur le versant du Douro. 35 à 40 km s'éparent en effet le sommet de San Lorenzo, à 2265 m d'altitude, de l'axe de la vallée de l'Ebre situé à 490-500 m, tandis que la ligne de partage des eaux court un peu en arrière, à 50-55 km de la gouttière, et à des altitudes supérieures à 2000 m en plusieurs secteurs, ne s'abaissant au-dessous de 1200 m qu'au niveau du couloir Agreda-Soria. Le versant du Douro de

son côté, rachète une dénivellation beaucoup moins importante - le fleuve est à 900 m d'altitude au pied Sud de la Demanda - sur une distance un peu plus grande, 60 km environ. Il résulte de cette disposition d'ensemble que les bassins sont situés à des niveaux assez élevés. Pour l'ensemble des quatre bassins contigus du Tiron, Najerilla, Iregua, Leza, les planimétrages ont donné les résultats suivants :

Tranches d'alt	200 à 500 m	500 à 1000m	1000 à 1500m	1500 à 2000m	Plus de 2000 m
S en Km ²	191	1 288	2 082	380	10

Mais à l'intérieur de cet ensemble montagneux, des distinctions s'imposent :

- Les Sierras de la Demanda et San Millán, au Nord-Ouest, sont entièrement sculptées dans les matériaux paléozoïques : schistes et quartzites dans lesquels s'esquisse un relief appalachien.

- Au-delà de la coupure du Najerilla, rivière dont le soubassement est encore incisé dans les terrains anciens, les Picos de Urbión, la Sierra Cebollera, et tout l'ensemble des Cameros, sont modelés dans la couverture mésozoïque qui, ici, étant donné sa très grande épaisseur, n'a pas été décapée. On a affaire d'après R. Brinkman (1960-62) en effet à un ancien delta Wealdien constitué par des conglomérats, des grès sableux et des maries, venus du massif castillan soulevé à cette époque, ainsi que du massif de l'Ebre : sédiments continentaux donc, qui se sont accumulés sur de très fortes puissances, R. Brinkman parle de 3 à 5 km d'épaisseur de Wealdien. Dans ces masses considérables, les efforts tectoniques tertiaires semblent s'être avortés, de sorte que, si les bordures

présentent des failles et des chevauchements, la partie centrale est plutôt caractérisée par une tectonique en dômes.

- A l'extrémité de ce secteur, séparé du bloc précédent par le couloir de Agréda, Le Moncayo est un immense anticlinal de grès et conglomérats, faillé, lui aussi, et chevauchant au-dessus de la plaine de l'Ebre.

Ces caractères morpho-structuraux tendent à déterminer dans ce secteur, un écoulement rapide et assez abondant. En effet, la relative proximité de l'Océan, l'orientation des reliefs face aux flux perturbés de NW, l'altitude, supérieure à celle des massifs vasco-cantabriques que ces flux doivent franchir, font de ce secteur une importante zone de condensation qui s'intercale heureusement entre l'aridité de la Dépression Centrale et celle de la Meseta. De plus, la fréquence des sols sur quartzites et sur schistes, permet ici un ruissellement superficiel assez abondant, accéléré d'ailleurs par la raideur des pentes.

- Le secteur central saragossan. Par sa structure, et son relief où dominent les formes tabulaires, par le paysage tout entier, morphologique, climatique, et humain, cette région annonce la Meseta.

En effet, le socle hercynien de schistes et quartzites cambro-siluriens forme l'ossature du pays. La couverture mésozoïque mince a été le plus souvent enlevée et ne se trouve plus que sur les flancs des reliefs ou pinoée dans les dépressions. L'ensemble, comme dans le secteur précédent, a été soumis à une tectonique cassante qui a déterminé la formation de blocs et de fosses longitudinales, remplies de sédiments continentaux miocènes variés.

Trois fossés se relaient ainsi, en coulisse du NW au

SE, ceux de Almazan-Ariza, Calatayud - Daroca, Calamocha - Teruel. Ils divisent le secteur central du Système Ibérique en deux branches : une branche aragonaise au Nord, complexe, elle-même scindée en deux faisceaux par la dépression de Calatayud, une branche dite Castellane, au Sud, soudée à la Meseta.

- La branche aragonaise déroule parallèlement au fleuve, ses trois bandes de nature différente :

- Au nord, entre la dépression longitudinale Calatayud-Daroca et celle de l'Ebre, une série de bourrelets relie le Moncayo à Cucalon par les Sierras de la Virgen, Vicort et Algañren. Il s'agit de fragments de socle paléozoïque que la pénélaine pontienne a entamé sur les bords, mais dont les sommets, situés vers 1400 m, et constitués par des crêtes monoclinales de quartzite, n'ont été atteints ni par la pénéplanation, ni par le remplissage pontiens. Aux deux extrémités du faisceau des lambeaux de couverture triastique ont été conservés au fond de fossés tectoniques étroits et allongés.

- Au Sud de la dépression de Calatayud, les schistes et quartzites cambro-siluriens, réapparaissent. Ils sont ployés en anticlinal et donnent les modestes sierras de Ateca et Santa-Cruz.

- Au-delà de la dépression Almazan-Ariza, la ligne de partage des eaux entre Douro, Tage et Turia d'une part, Jalon d'autre part, s'inscrit dans la branche castillane du Système Ibérique. Cette branche est constituée, à l'W du secteur qui nous occupe, par la Sierra Ministra, dont on a déjà souligné le rôle hydrographique. Excepté ce bourrelet montagneux de la Sierra Ministra où l'érosion est en train d'amorcer une inversion de relief, l'ensemble de ce secteur apparaît comme un pays de parçnos correspondant ici à la surface d'érosion prépontienne récemment dégagée de la couverture miocène et pas encore atteinte par l'érosion remontante des rivières. Plus à l'Est apparaissent deux alignements montagneux : Araguncillo - Sierra Menara et Sierra de Albarracín. Ils doivent leur existence à des plis de fond ressoulevés en horst à une époque

récente, post-miocène selon O. Riba et J.M. Rios (1960-62), et séparés par le synclinorium de calcaire jurassique du plateau de Pozondon. Les sommets des Sierras Menera et Albarracín sont constitués par des fragments de socle perçant une couverture assez épaisse de calcaires liasiques et jurassiques, ployés en plis larges, de style jurassien. Vers l'Est, la Sierra de Albarracín est découpée par un système de failles NW-SE et descend en gradins vers la vallée du Jiloca.

- Entre les branches castillanes et aragonaises du système, la cuvette d'Almazan, comblée par des matériaux miocènes que couronne la table des calcaires pontiens est un nouveau pays de paramos offrant des paysages semblables à ceux de la Castille. Ces paramos sont toutefois moins étendus ici, car resserrés entre des reliefs et plus ou moins disséqués par le réseau du Jalon supérieur. La couverture pontienne disparaît vers le SE, au niveau du Rio Mesa, affluent de droite du Jalon. La surface topographique s'inscrit alors dans une surface d'érosion nivelant des calcaires jurassiques et crétacés ployés en larges plis dans lesquels la rivière a scié un profond canon.

Mais à l'exception de la Sierra de Albarracín qui se détache avec quelque énergie, tout ceci est beaucoup plus visible sur la carte géologique grâce à la palette variée des couleurs que dans la nature, car la surface fini-pontienne a nivelé le tout, en rapport avec le niveau remplissage des cuvettes miocènes, niveau situé ici vers 1000 m d'altitude. Cette surface n'a guère été entamée par la suite qu'au voisinage des rivières les plus importantes: Jalon, Jiloca, où l'on voit se développer une amorce de relief apalachien, là où affleure le socle, tandis que des reliefs structuraux se dégagent sur les sédiments tertiaires de la cuvette où les rapides variations de relief ont permis la mise en évidence, par l'érosion différentielle, des couches les plus dures. (1)

(1) Peut-être des mouvements post-pontiens ont-ils contribué au rajeunissement de certains reliefs comme dans la Sierra Menera et la Sierra de Albarracín. Ici, le débat reste ouvert entre B. Bomer (1956) qui voit dans les Sierras dominant les cuvettes miocènes, des reliefs essentiellement résiduels et les géographes espagnols qui attribuent le principal rôle à des mouvements tectoniques tardifs.

a) Répartition des surfaces par tranches d'altitude :

Bassins versants	Altitude Minimale	Altitude Maximale	0 à 200 m	200 à 500 m	500 à 1 000 m	1 000 à 1 500 m	1 500 à 2 000 m	2 000 à 2 500 m	2 500 à 3 000 m	supr à 3 000 m	Surface totale
Jalon	215 m	1 749 m	km2	796	5 074	3 662	9,6				9 542
			%	8,3	53,1	38,3	0,1				
Guadalope	98 m	1 997 m	km2	42	1 048	1 511	596				3 837
			%	1,1	27,3	39,3	15,5				

b) Surfaces et fréquences cumulées :

Bassins versants	Altitude Minimale	Altitude Maximale	Surface totale	Surface au-dessus de 200 m	Surface au-dessus de 500 m	Surface au-dessus de 1 000 m	Surface au-dessus de 1 500 m		
Jalon	215 m	1 749 m	S 9 542	9 542	8 746	3 672	9,6		
			% 100	100	91,5	38,4	0,1		
Guadalope	98 m	1 997 m	S 3 837	3 795	3 155	2 107	596		
			% 100	98,8	82,1	54,8	15,5		

Pour nous, le problème réside dans l'incidence de cette morphologie sur le climat et les phénomènes hydrologiques. Or, la massivité du relief, la médiocrité des altitudes, tels sont pour notre propos, les caractères essentiels de ce secteur. L'immense bassin du Jalon possède plus de la moitié de sa surface entre 500 et 1000 m, 1/3 entre 1000 et 1500 m et 0,1 % seulement entre 1500 et 1750 m point culminant du bassin, dans la Sierra Tablado, au Sud du Moncayo, où naît le rio Isuela, affluent du Jalon. Ces altitudes relativement modestes, jointes à l'étalement des dénivellations et à la situation très continentale, ne permettent pas aux reliefs de susciter dans les masses d'air ces mouvements ascensionnels générateurs de nuages et de pluies. C'est pourquoi la ceinture humide du bassin est interrompue à ce niveau, tandis que se développe, en arrière du bourrelet marginal, une sécheresse très sévère qu'accroissent encore, dans les dépressions, l'effet d'abri et la nature des sols. Par contre si la topographie ne joue guère en faveur de la pluviosité, elle accentue la continentalité du régime thermique en rendant les hivers plus rudes, tandis qu'en été, la température reste souvent très élevée, en particulier dans les fossés abrités.

C'est encore cette topographie de "paramos" qui, jointe à la faiblesse des modules pluviométriques, explique l'importance prise ici par l'endoréisme. On signalera seulement la lagune de Gallocante, qui soustrait à l'Ebre 560 km² de bassin versant.

3 - Le secteur sud-est du Système Ibérique :

Le fossé Calamocha-Teruel qu'empruntent en sens inverse le Jalon et le Turia, sépare le secteur médian du complexe mon-

tagneux par lequel le Système Ibérique se termine au Sud-Est. Dans cet ensemble confus qui appartient pour l'essentiel, au bassin du Guadalo,pe, trois unités peuvent être dégagées :

- 1 - La Sierra Palomera, à l'Ouest est le symétrique de l'Albarracín par rapport à la vallée du Jiloca.

2 - La Sierra de San Just, plus au Nord, où nait une des branches du Guadalo,pe, est la continuation du faisceau septentrional du secteur Saragossan.

Dans tout ce secteur, la couverture sédimentaire, plus épaisse qu'à l'Ouest n'a pu être enlevée que localement, là où le socle a été porté à une altitude suffisante pour donner à l'érosion une grande énergie. C'est le cas dans la région de Montalban, où le paléozoïque affleure sur l'axe de soulèvement maximum. Partout ailleurs, les terrains secondaires du Trias à l'Ouest au Crétacé à l'Est, sous-tendent le paysage, un paysage aux formes atténuées, où dominent les pénéplaines, en particulier la pénéplaine finipontienne qui occupe de vastes surfaces, parfois déformée par des mouvements post-pontiens à large rayon de courbure. Tout ceci donne de hautes terres, froides et pauvres, plus affectées encore par la continentalité thermique que le haut Jalon. D'autre part, la faiblesse des pentes et la nature des sols ne favorisent guère le ruissellement.

3 - Plus à l'Est, la Sierra de Gudar et le Maestrazgo apparaissent sur la carte géologique comme un équivalent des Cameros, 1

Comme dans la Sierra des Cameros en effet, la persistance des phénomènes de subsidence a permis l'accumulation des sédiments de couverture sur une très grande épaisseur, en particulier au Crétacé

ou l'Urgo-aptien s'est déposé sur 500 m d'épaisseur. Mais la nature des sédiments est différente. Le Crétacé des Cameros est du Wealdien détritique et continental, celui du Maestrazgo, de l'Urgo-aptien en grande partie calcaire et marin.

La Sierra de Gudar, dressée à 2024 m, est disséquée par les tributaires de trois fleuves : le Guadalope, affluent de l'Ebre, du Mijares, l'Alfambra, affluent du Turia, et plusieurs affluents, sans compter le Mijares lui-même. En réalité, le point culminant de la sierra est situé hors du bassin du Guadalope, à 4 ou 5 km de la ligne de partage des eaux : une crête qui atteint encore 1997 m entre Guadalope et Mijares, et ceci, à 70 km seulement de la Méditerranée.

La masse du Maestrazgo constitue le coin Sud-Est du bassin de l'Ebre et sert de charnière entre le secteur ibérique et les reliefs du bassin inférieur.

^{est}
La partie centrale du massif ^{est} formée de couches horizontales ou faiblement ondulées. Ici en effet, les efforts tectoniques semblent s'être amortis dans la masse des sédiments de couverture. Les bords au contraire, sont affectés par une tectonique plus vigoureuse, qui a donné à l'Ouest, des plis droits, étirés SSE-NNW, au Nord, des plis W-E déversés vers la dépression de l'Ebre, tandis qu'à l'Est des cassures abaissent progressivement le massif vers la Méditerranée.

L'érosion a taillé dans ce massif des reliefs structuraux : tables lorsque les couches sont horizontales, *cuestas*, et hog-backs lorsque les couches sont inclinées; ailleurs, la carapace a été ouverte en bray (Morella). Tout ceci annonce les reliefs de l'Ebre inférieur, en particulier les "Puertos de Beceite". D'ailleurs, ce n'est pas seulement le paysage morphologique qui change, mais le paysage géographique tout entier. Proximité de la Méditerranée, et élévation

des reliefs déterminent une pluviosité plus abondante, un climat moins continental et moins rude et par suite une végétation moins désertique.

D'une façon générale, dans tout ce secteur Gudar-Maestrazgo le style tectonique et la proximité du niveau de base méditerranéen, donnent un relief plus vigoureux et plus différencié que dans le secteur saragossan. C'est pourquoi le Guadalope, principal organisme hydrographique de cette région, répartit les surfaces de son bassin versant beaucoup plus harmonieusement par tranche d'altitude, que son voisin le Jalon, ce qui signifie un relief moins massif, mais plus varié et aussi plus élevé. Et ceci, malgré le développement encore important des zones tabulaires, soit dans le centre du Maestrazgo, soit dans la Sierra de San Just. Ainsi, le plus gros pourcentage de surface se situe dans la tranche 1000 à 1500 m au lieu de 500 - 1000 m sur le Jalon. La tranche supérieure 1500 - 2000 m, avec 15 % de la surface totale au lieu de 0,1 % joue un rôle fondamental par son influence sur les pentes et sur les différents phénomènes climatiques.

Ainsi, le Système Ibérique constitue un ensemble de hautes terres massives, vers lesquelles on s'élève le plus souvent insensiblement lorsqu'on vient des régions voisines, mais qui n'en jouent pas moins leur rôle sur le plan climatique et hydrologique : rôle positif à l'amont où dominent encore les flux perturbés de N à NW pour lesquels les reliefs jouent le rôle d'écran de condensation, rôle négatif à partir du Moncayo où le relief est au contraire un facteur de continentalité, par l'effet d'abri qu'il provoque sur le versant de l'Ebre lorsque les perturbations de Gibraltar remontent l'Espagne du SW au NE.

Différents par leur structure, leur relief, la nature de leur substratum et aussi leur régime pluviométrique, les trois secteurs du Système Ibérique le sont aussi par leur hydrographie.

b) Le drainage du secteur Ibérique :

1 - Jusqu'au Moncayo, l'abondance pluviale, et la nature souvent imperméable du substratum, favorisent la formation d'un réseau hydrographique perenne assez dense. Mais la proximité de la ligne de partage des eaux, 35 km de l'axe de la vallée au niveau du Moncayo, 60 km au maximum au niveau des Picos Urbion, l'agencement des reliefs ne permettent ici que des rivières courtes (60 à 80 km) et simples, réduites le plus souvent à une artère principale dotée de quelques affluents de longueur très réduite, disposés en échelle le long du tronc principal. L'exemple du Najerilla est typique à cet égard. D'autres comme le Leza ou le rio Iregua sont réduites à un éventail de petits torrents, drainant à l'amont un amphithéâtre de montagnes, et un collecteur conduisant ces eaux à l'Ebre en quelques dizaines de kilomètres seulement. Seul le rio Alhama, logé dans l'ensellement entre Cebollera et Moncayo, étale entre ces montagnes un bassin de forme évasée, drainé par trois organismes de longueur assez voisine, et qui confluent en aval de Cervera del Rio Alhama à quelques centaines de mètres de distance seulement. Il y a là une convergence qui, en cas de gros orage pourrait entraîner sur le collecteur principal une conjonction inquiétante des ondes de crue élémentaires. Mais il se trouve que cet affluent, le seul de ce secteur à présenter une conformation dangereuse, est le moins bien alimenté à cause de l'altitude plus faible de son bassin et de

ses sources (1260 m seulement alors que Najerilla et Tiron naissent au-delà de 2000 m), et c'est aussi celui dont les pentes sont les plus faibles : 12 ‰ contre 16 à 20 ‰ pour les affluents venus du noeud orographique Demanda-Urbion, ou encore 14 ‰ pour le Queiles venu du Moncayo.

Le drainage de ce secteur NW du Système Ibérique est donc caractérisé par une série de bassins longilignes de faible surface (500 à 1500 km²) à substratum imperméable jusqu'au Najerilla inclus, drainés par des rivières parallèles, courtes et simples, mais à pente forte et alimentation relativement bonne à l'amont, surtout si l'on compare avec la partie centrale et SE du système. On entrevoit dès à présent le rôle de ce secteur dans l'alimentation du fleuve : rôle de soutien des débits essentiellement, mais en éparpillant ces débits en une série de petits bassins échelonnés, cette région montagneuse constitue rarement un danger en période de crise hydrologique.

2 - A cet échelonnement des bassins de la Bureba au Moncayo, le secteur saragossan oppose une remarquable unité de drainage. En effet si l'on excepte le rio Huerva, au rôle insignifiant, un seul organisme assure la collecte des eaux : le Jalon au bassin immense qui, avec son affluent le Jiloca couvre 9624 km², presque le 1/9 du bassin total de l'Ebre. Le Jalon constitue une rivière originale, tant par son tempérament hydrologique - comme on le verra plus tard - que par son tracé. Un simple coup d'oeil à la carte géologique et à la carte lithologique, nous montre tout de suite qu'il est totalement inadapté à la structure, à l'inverse de ses

affluents qui suivent au contraire les indications de la structure ou de la lithologie.

De par sa naissance, le Jalon est beaucoup plus castillan qu'aragonais. Il prend sa source en effet à 1236 m d'altitude, dans la Sierra Ministra, c'est-à-dire, dans la branche castillane du Système Ibérique, et dans un secteur où celle-ci constitue entre les Picos de Urbion, Somosierra et l'Albarracin, un vaste ensemble où se cotoient trois grands fleuves espagnols : Le Douro, le Tage et l'Ebre par l'intermédiaire du Jalon. A vrai dire, la difficulté est telle pour partager entre ces trois bassins un si maigre module pluvial (400 à 500 mm selon le secteur) qu'une tendance à l'endoréisme apparaît, favorisée par la faiblesse des pentes. On note en effet la présence significative d'une "lagune" un peu au Nord des sources du Jalon. C'est donc dans ce secteur si misérablement approvisionné en eau de pluie et au relief si peu favorable au ruissellement, que naît l'affluent de l'Ebre le plus important par la surface de son bassin versant, le deuxième après le Sègre pour la longueur (mais le dernier des grands affluents si l'on considère le débit). Les différents ruisseaux qui, par leur réunion constituent le cours supérieur, naissent de sources situées au contact des séries dolomitiques du Lias inférieur, et des marnes salines du Keuper. Les toponymes de la région : "Salinas de Medinaceli" rappellent le caractère souvent salifère de ces couches du Trias finissant. Au bout d'une vingtaine de kilomètres de cours, la rivière entre dans le bassin miocène d'Almazan-Ariza : zone à faible densité hydrographique, où le réseau affluent est souvent de type intermittent, en particulier dans les secteurs amont, où des interfluves

trop vastes pour des pentes aussi faibles, échappent parfois au drainage exoréique, comme dans la zone comprise entre Rio Blanco, Rio Mesa et Jalon, où s'est logée la lagune de Judes. A partir d'Alhama, la situation change brusquement. Pour gagner la gouttière centrale le Jalon doit couper transversalement la série des bourrelets montagneux qui constituent la branche aragonaise du Système Ibérique. Il traverse ainsi successivement la sierra de calcaire crétacé de Alhama, sciée en une gorge profonde au fond de laquelle il reçoit le Mesa, tranche l'anticlinal de schistes cambro-siluriens d'Ateca, coupe la dépression de Calatayud où sa vallée s'épanouit un instant dans les roches tendres du remplissage miocène, s'encaisse à nouveau dans le matériel ancien des Sierras de Vicort et Algairén, débouche enfin au niveau de Ricla sur la dépression de l'Ebre.

De sa naissance à son confluent avec l'Ebre, le Jalon se comporte donc avec une magnifique indifférence à l'égard de la structure. C'est que la rivière naissante s'est installée en surimposition sur la pénéplaine pontienne tendue à 1000 m d'altitude, à la fois sur les anciens massifs paléozoïques et sur le niveau maximum du remplissage miocène. Par la suite, lorsque l'érosion plio-quaternaire a fait réapparaître la structure, la rivière s'est enfoncée sur place, ce qui ne manque pas de nous étonner quelque peu, vu la faiblesse des pentes, la pauvreté des débits, en un mot, le faible pouvoir érosif. Sans doute, l'apport, au bon endroit du rio Mesa, avant l'anticlinal d'Ateca, puis du Jiloca, du Manubles et du Ribota dans la dépression de Calatayud, ont-ils permis de franchir les passages difficiles. Peut-être aussi, faut-il faire appel à

l'hypothèse avancée par B. Bomer d'un gauchissement transversal des bourrelets montagneux, tout au moins celui du SW, pour expliquer cette inadaptation.

Mais le Jalon est le seul organisme de ce secteur à présenter un tracé aussi aberrant. Tous ses affluents ont au contraire un cours longitudinal et leur tracé est déterminé soit par la tectonique, soit par la lithologie. C'est ainsi que le Jiloca, né dans la Sierra de Albarracin à la faveur d'une faille drainante emprunte d'abord l'ample fossé de Teruel entre les Sierras de Albarracin et Palomera, s'incline ensuite vers le NE à partir de Calamocha, pour se glisser dans celui de Daroca qu'il suivra jusqu'à son confluent avec le Jalon, en présentant, selon les secteurs, des adaptations de détail différentes. En effet, de Luco de Jiloca à Murero, de part et d'autre de Daroca, la vallée entaille assez paradoxalement une avancée du massif ancien. En réalité, M. Ferrer Regales et S. Mensua Fernandez (1956) ont démontré qu'elle était adaptée ici à une structure de fossé monoclinal tandis qu'au-delà de Murero, le bas Jiloca comme les autres affluents de la dépression de Calatayud, suit les indications de la lithologie. Il a creusé en effet sa vallée dans cette zone de faiblesse que constitue, entre les conglomérats marginaux étalés au pied des reliefs bordiers et les calcaires pontiens du centre de la dépression, l'affleurement d'une couche de marnes que B. Bomer (1956) appelle "marnes intermédiaires". En fonction de ces données lithologiques, le Jiloca a modelé une vallée dissymétrique dite vallée de changement de faciès, dominée d'un côté par la corniche des calcaires pontiens, bordée de l'autre par un système de collines taillées dans les conglomérats marginaux plus ou moins consolidés. Une collection de

torrents affluents, au régime spasmodique ravine épisodiquement ce matériel. Ces organismes construisent à leur débouché dans la plaine une série de cônes de déjection et peuvent même par l'abondance des produits charriés, encombrer le lit du Jiloca et lui imposer de dangereuses divagations. A côté de ces torrents intermittents, fonctionnant seulement en période de crue, plusieurs sources perennes, échelonnées le long de la dépression, soutiennent heureusement un débit faiblissant, car ce long affluent de 126 km soumis à un climat desséchant, ne reçoit pratiquement aucun tributaire au long de son cours étroitement corseté par des reliefs massifs et peu arrosés.

La moitié NW de la dépression de Calatayud, au-delà du Jalon héberge de la même façon deux autres rivières, le Manubles et le Ribota, symétriquement installés par rapport aux calcaires pontiens qu'ils ont ainsi mis en valeur au centre de la cuvette où ils constituent la Sierra de Almantes. Ainsi on le voit, de part et d'autre de Calatayud, sur une distance de 16 km environ, en ligne droite, le Jalon reçoit quatre affluents, symétriques de par leur position par rapport à deux axes perpendiculaires, l'un constitué par le Jalon, l'autre par une perpendiculaire à cette rivière au niveau de Calatayud. Il y a donc là une convergence assez remarquable, que B.Bomer (1956) explique par un gauchissement transverse post-pontien.

Sur le plan hydrologique, tout ceci est presque toujours sans importance étant donné la pénurie des rivières (trois d'entre elles sont insignifiantes) et malgré des longueurs assez voisines pour le Jalon et le Jiloca, au point où ils se rencontrent. Mais pratiquement, les seules pluies susceptibles de provoquer ici

des crues importantes sont des pluies de convection activées par le passage d'un fond froid. Or ces pluies sont généralement localisées, et les sources du Jalon et du Jiloca sont distantes de 120 km environ. Pourtant, dans le cas tout à fait exceptionnel, de grosses pluies synchrones, la convergence de ces deux rivières à l'issue de plus de 7000 km² de bassin versant et avant l'étranglement à travers la sierra de Vicort, peut constituer un réel danger. Heureusement pour les populations riveraines, le cours inférieur reste assez profondément encaissé dans les marnes continentales et les gypses de la Dépression de l'Ebre, de sorte que les crues n'atteignent généralement pas les terres cultivées. Il est un autre facteur défavorable à la formation de grosses ondes de crue : la faiblesse des pentes : 7 ‰ sur le Jiloca, et seulement 5 ‰ pour le Jalon qui là encore détient un record : celui de la lenteur des écoulements, en liaison avec la faible inclinaison des profils

3 - Les conditions du ruissellement dans le secteur Sud-Est du Système Ibérique sont assez semblables à celles du secteur central : faiblesse des pentes dès l'amont, grande étendue des surfaces subhorizontales, nature souvent imperméable des sols ; tout ceci, allié à la modicité des modules pluviométriques explique que ce vaste secteur ne fournisse à l'Ebre qu'un seul affluent de quelque importance : le Guadalope.

Avec 117 km de long et 3830 km² de bassin versant le Guadalope est le deuxième des affluents de rive droite, derrière le Jalon. Sa position géographique à l'aval du bassin de l'Ebre, en fait une rivière de transition entre le Jalon, rivière ibérique par

excellence et presque castillane, et le Matarraña au caractère méditerranéen déjà accusé. Le Guadalope, lui, est ibérique dans son secteur amont : la branche nord du Guadalope supérieur naît au pied de la Sierra de San Just, dans un pays de paramos à l'aspect étonnamment désertique. La branche sud, issue de la Sierra de Gudar, où elle débute vers 1600 m d'altitude, circule sur les 7 à 8 premiers kilomètres, dans un paysage semblable. Cette morphologie se traduit sur la rivière par un profil en long à peine concave. Sur les 36 premiers kilomètres de cours, la pente est en effet de 17 ‰ seulement, ce qui est peu pour un secteur amont, et surtout à peine supérieur à la pente moyenne qui est de 12 ‰. Le profil se relève donc très peu vers l'amont.

De Aliaga à Castellote, le Guadalope s'encaisse dans les calcaires du Crétacé supérieur. En aval d'Aliaga en particulier, sur une dizaine de kilomètres, il coule au fond d'une gorge inaccessible dominée par des reliefs de 1400 à 1500 m alors que le lit de la rivière se tient autour de 900 m. Dans tout ce secteur, le cours du Guadalope comme celui de ses affluents et de la plupart des rivières du Maestrazgo est épigénique comme le prouvent les restes de conglomérats oligocènes qui fossilisent encore de vastes surfaces. Ainsi, jusqu'à Calanda, c'est une succession de gorges pittoresques qui ne se desserrent qu'au niveau du barrage de Santolea et surtout de la confluence du Bergantes. Celle-ci se fait dans une plaine alluviale largement épanouie, nappée de sables et de graviers sur lesquels les deux rivières s'étalent et divaguent. C'est pour quoi, pour fixer les atterrissements et le secours d'eau, les hommes ont transformé cette plaine en une véritable forêt de peupliers. A

l'aval de la confluence, un dernier obstacle barre la vallée : le pli de Calanda que la rivière franchit en une étroite cîuse qu'enjambe un vieux pont d'une rare hardiesse. Tout au long de ce tronçon médian, on voit s'accuser les caractères méditerranéens. La végétation, accrochée aux falaises calcaires, la couleur du ciel et des eaux, l'allure du lit évoquant de forts contrastes de débit et une grosse capacité de transport en période de crue, tout annonce les approches de la Méditerranée. Quant au profil il accuse une pente, pour l'ensemble de ce secteur, de 11,3 ‰, chiffre relativement élevé eu égard à la pente moyenne de la rivière.

Au-delà de la "Foz de Calanda", le Guadalope entre dans la dépression de l'Ebre. C'est la partie aragonaise de son cours mais il s'agit d'un milieu aragonais de transition, teinté de méditerranéen. Le Guadalope traverse ce secteur un peu en étrangleur. Il n'y reçoit aucun affluent si ce n'est quelques torrents intermittents entre Alcañiz et Caspe. Ce caractère aragonais résulte d'abord de la continentalité du milieu. Une continentalité très poussée qui se traduit par la faiblesse du drainage, une tendance marquée à l'endoréisme : des "lagunes", plus ou moins saumâtres "Salada grande", à 5 ou 6 km à l'Ouest d'Alcañiz, "Laguna Salada" et "Balsas", aux approches de l'Ebre parsèment la région, en particulier sur le vaste interfluve Guadalope-Martin. Là encore, des ravins intermittents comme celui du Regallo se terminent dans des dépressions intérieures.

Ce caractère aragonais est encore dû à la nature des terrains sur lesquels le lit s'est installé : marnes continentales

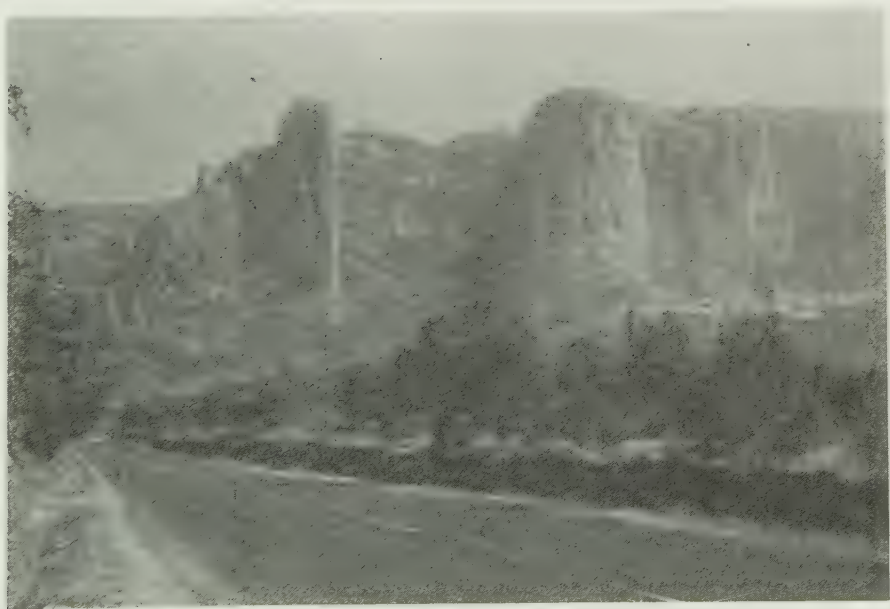
friables, semblables à celles que l'on trouve dans la plus grande partie de la cuvette de l'Ebre, et qui fournissent en période de crue de forts débits solides. Friabilité des berges, importance des atterrissements et diminution de la pente : 8,5 ‰ de Calanda au confluent, s'accompagnent dans ce secteur d'une multiplication des méandres. Fait commun d'ailleurs à toutes les rivières de cette partie aval du bassin de l'Ebre, que l'on retrouve en particulier sur le bas Matarraña, le bas Guadalope et le fleuve lui-même.

3°/ La Dépression Centrale : une morphologie peu propre au ruissellement fluvial :

Née d'une immense inversion de relief, comme l'a montré l'histoire géologique, cette Dépression Centrale affecte aujourd'hui tout comme l'ensemble du bassin, la forme d'une vaste gouttière triangulaire, étirée vers l'amont, dissymétrique, l'axe étant décalé vers le Sud, et fermée ou presque à l'aval. Vaste gouttière en effet, puisqu'elle représente environ le 1/3 du bassin total. De toutes les régions de l'Ebre, c'est la plus étendue. Le fleuve y inscrit environ 530 km d'un cours long au total de 900 km. On conçoit que ce secteur modifie puissamment les caractères que nous avons rencontrés à l'amont.

Or le fait essentiel ici, du point de vue des incidences hydrographiques, c'est la prédominance d'un système de pentes très faibles, peu propres à l'écoulement fluvial ; caractère qui résulte d'abord de la structure de cette région.

Un • barranco • dans
la Depression Centrale
(secteur des Bardenas)



Les • Mallos de Riglos •

Sur le plan structural, la dépression centrale correspond à une cuvette de subsidence, limitée au Nord et au Sud par de vastes systèmes de failles chevauchantes qui ont poussé au-dessus de la dépression les montagnes marginales, cuvette bourrée de matériaux tertiaires, entièrement continentaux à partir de l'Eocène supérieur, et accumulés sur de très grandes épaisseurs, de l'ordre de plusieurs milliers de mètres. Ce colmatage s'est fait avec des matériaux variés. On constate en effet de nombreuses variations de faciès dans le sens vertical, en fonction des variations de climat et des mouvements tectoniques, et aussi, ce qui est beaucoup plus important dans notre perspective, dans le sens horizontal, en fonction de l'éloignement des reliefs bordiers. Dans le sens vertical, nous signalerons surtout l'importance des séries tendres, constituées par des argiles et marnes continentales, localement "armées" par quelques bancs de grès ou de calcaire, les nombreuses intercalations de gypse, siège de phénomènes de dissolution ou d'hydratation, et sources de bien des soucis pour les constructeurs de barrages ou de canaux, et la présence, couronnant le tout, d'une couche de calcaires pontiens, située aujourd'hui à 600 ou 700 m d'altitude, et représentant le sommet du remplissage et la fin du régime endoréique.

Sur le plan horizontal, de la bordure vers le centre de la cuvette, on constate presque toujours la même succession de terrains, à savoir : brèches oligocènes, conglomérats de même âge au contact des sierras marginales, grès et marnes, marnes, calcaire, gypse, anhydre, gypse.

En réalité, il n'y a pas totale identité en ce qui concerne cette stratigraphie, entre le versant N et le versant S de la gouttière. Bien au contraire, la dissymétrie topographique correspond à une dissymétrie tectonique et stratigraphique. Au Sud des Pyrénées, la série tertiaire est complète et très puissante. Par contre, l'Eocène marin est totalement absent sur la rive droite. L'Oligocène s'entasse au pied des Pyrénées sur de très grandes épaisseurs alors que sur le versant Sud, sa puissance est considérablement réduite et il peut même manquer totalement. Enfin, le Miocène apparaît sur la carte géologique nettement décalé vers le

Sud de la dépression, où il déborde même sur les terrains paléozoïques du Système Ibérique qu'il recouvre parfois en discordance.

Ce matériel se trouve disposé au centre de la cuvette en couches horizontales ou faiblement ployées par de légères ondulations post-pontiennes l'une d'elles ayant d'ailleurs fixé le cours actuel du fleuve, tandis que sur les bordures, les couches se redressent et parfois même ont subi à l'époque oligocène des efforts de plissement.

Le réseau hydrographique installé au sommet du remplissage, à 700 m d'altitude environ, sollicité à partir de la fin du régime endoréique par un niveau de base très bas, a percé la carapace pontienne, puis travaillant sans peine dans le matériel tendre sous-jacent, a abaissé le niveau des vallées jusqu'à des altitudes très basses : 190 m au niveau de Saragosse. Le résultat de ce travail fut de mettre ainsi en valeur des types de reliefs dont la nature est commandée par la répartition des faciès et bien sûr, par la structure. Ainsi se succèdent du centre de la cuvette vers les bords des paysages morphologiques que nous évoquerons rapidement.

Au centre de la cuvette, sur une structure très calme, se développe une topographie quelque peu monotone, que ne vient rythmer aucune verticale, même pas la silhouette d'un arbre ou celle d'un clocher. Les villages ici sont rares, distants de plusieurs dizaines de kilomètres et leurs constructions de pierre grise ou de brique ocre, se détachent mal dans la grisaille générale, celle des roches et celle d'un ciel le plus souvent voilé de poussière. Ces lignes horizontales s'étalent en plusieurs niveaux parfois assez décalés pour donner l'impression d'une région montagneuse. En première approximation, on peut distinguer à la base le niveau des plaines et des glacis, au-dessus celui des hautes buttes ou "Muelas", deux ensembles

donc reliés par la longue ligne concave des glacis de "Pie de Muela".

- Le niveau inférieur est donc constitué dans le détail par plusieurs surfaces étagées, correspondant aux glacis des rivières aragonaises et aux plaines d'érosion, taillés dans les niveaux argileux ou marno-gypseux. Les glacis présentent la particularité d'être le plus souvent disséqués au voisinage des grandes rivières par de nombreux ravins à fond plat et versants raides, ravins secs ne fonctionnant que par gros orage, et qui font penser aux oueds africains. Tandis que le centre des vastes interfluvés séparant les affluents de l'Ebre, n'a pas été atteint par l'érosion remontante de ces ravins. On a donc des topographies absolument planes qui, jointes à l'aridité du climat, ont favorisé le développement de l'endoréisme.

Ce paysage, on le rencontre essentiellement sur la rive gauche de l'Ebre, de part et d'autre du Gallego, c'est-à-dire dans le Sud des Cinco Villas d'une part, et dans les Monegros d'autre part.

- Dominant la plaine d'une hauteur de 300, 400 ou même 500 m, des éléments tabulaires, en position d'interfluve, s'étirent sur plusieurs kilomètres, donnant ces longues lignes horizontales qui barrent l'horizon des plaines aragonaises. Ces reliefs, ce sont "les Muelas" ou "Planas", si caractéristiques du centre de la cuvette. Rive gauche, on observe successivement les "Bardenas" étalées à 600 m d'altitude entre Aragon et Arba, "el Castellar" (747 m) entre Arba et Gallego, la Sierra de Alcubierre la plus élevée (811 m) entre Gallego et Cinca, au centre des Monegros. Rive droite, se succèdent de la même façon la Muela de Borja (700 m) entre les rios Queiles et Huecha, la Muela de Saragosse (650 m) entre Jalon et Huerva et

enfin la Plana de Saragosse (695 m) entre Huerva et le ruisseau de Ginel. Ces reliefs se présentent comme des buttes au sommet plat, couronné par la dalle des calcaires pontiens, festonnées sur les bords par de nombreux ravins, disséquées à l'intérieur par un réseau parfois très complexe des vallées sèches d'un type très particulier que l'on appelle ici les "Vales", et qui constituent un des éléments morphologiques les plus familiers du centre de la dépression et les plus typiques de l'Espagne sèche. Ce sont des ravins à fond plat et profil en berceau, de largeur très variable : 20-30 m jusqu'à 500 m et même un kilomètre, mais le plus souvent 100 à 200 m. Le fond est tapissé de matériel de transport constitué essentiellement par des marnes gypseuses de couleur blanchâtre. Ces "Vales" sont des formes fossiles non fonctionnelles, si ce n'est lors des orages estivaux où l'on voit se former une mince pellicule d'eau qui disparaît rapidement grâce à l'extrême perméabilité des limons qui en feutrent le fond. Mais les eaux infiltrées forment des courants souterrains bien connus des paysans qui n'hésitent pas à les exploiter malgré leur caractère saumâtre (L.M. Frutos, 1968).

- Lorsqu'on s'éloigne du centre de la cuvette les couches se redressent parfois légèrement. Dans ce cas, si des niveaux calcaires ou grésocalcaires s'intercalent dans les séries marneuses, ils donnent de véritables cuestras au profil assez lourd et au front tourné vers les Sierras Extérieures. Ainsi la cuesta de Almu-devar, au S du piémont de Huesca correspond à un banc de calcaire dur dans les séries de l'Oligocène supérieur ; la Sierra de Sigena, dans la partie orientale des Monegros, et la bordure N des Bardenas sont aussi des reliefs de cuesta.

- Le paysage de cuesta est parfois remplacé par un relief de hautes collines lorsque des bancs de grès résistants alternent avec les couches marneuses. C'est le cas dans la Sierra de Luna, la région de Luesia, de Calaceite, de Maella.

- Au-delà de ces reliefs, et sur les affluents de roches tendres se sont développées des formes de piémont, les "Somontanos". Il s'agit d'immenses glacis-terrasses étagés, dont les plus beaux exemples se trouvent au pied des Pyrénées, où la coalescence des cônes de l'Arga, l'Aragon, le Gallego, le Cinca, les Nogueras et le Sègre, donne un tablier continu depuis les Llanos de Urgel, jusqu'à la Navarre, en passant par le Somontano de Huesca, un des plus typiques et des mieux développés parmi ces types de relief. Ces formes se retrouvent au pied du versant ibérique, mais moins étendues, moins continues, surtout dans la partie centrale et orientale. Par contre, le massif Demanda-Cameros est jalonné à sa retombée sur la dépression centrale par un système de terrasses et glacis constituant un véritable piémont sur lequel s'est installé le fameux vignoble de la Rioja Alta.

Vers la périphérie, cette morphologie s'anime quelque peu, en relation avec une structure un peu plus mouvementée.

Ainsi, en Navarre et Catalogne en particulier, les couches ont parfois été ployées en plis lâches, accompagnés localement de failles. Il s'agit très souvent, en réalité de structures diapiriques dues à l'abondance du gypse, roche dont la faible densité a favorisé la migration vers le haut, à travers une série de dômes et anticlinaux, comme ceux de Pons et Barbastro à l'Est, et en Navarre les anticlinaux de Alcanadre, Marcilla... Ces structures

donnent, selon le cas, des dos de terrain ou des formes plus vives avec crêtes et corniches, selon que les plis ont été ouverts ou non par l'érosion.

Enfin, les conglomérats marginaux, accumulés au pied des reliefs sur de très fortes épaisseurs, en particulier au pied des Pyrénées, le plus souvent fortement cimentés, ont donné sous l'effet de l'érosion différentielle des reliefs hardis, de type ruinforme : les "mallos" dont les exemples les plus spectaculaires se trouvent en Catalogne (Montsant, et surtout chaîne de Montserrat mais cette dernière n'est plus dans le bassin de l'Ebre), et en Aragon : Mallos de Riglos . On retrouve des formes semblables plus à l'Ouest, contre les Monts Obarenes et au Sud de l'Ebre, sur le bord du massif Demanda-Cameros.

L'hydrographie du bassin moyen est caractérisée par trois phénomènes d'importance très inégale :

- quelques grandes rivières allogènes venues des bordures montagneuses traversent en étrangères la cuvette centrale pour rejoindre rapidement l'axe de la dépression et le collecteur principal : l'Ebre.

- Un réseau de ravins à fonctionnement épisodique est branché sur des rivières auxquelles ils n'apportent guère de contribution qu'en période de crue.

- Le centre des vastes interfluves , que l'érosion remontante des ravins n'a pu atteindre, est soumis à un régime endoréique, sur lequel plusieurs auteurs ont attiré l'attention : Dantin Cereceda et récemment M.J. Ibanez (1975).

- Les vallées inférieures des affluents pyrénéens et ibériques présentent dans leur traversée de la dépression centrale un certain nombre de traits communs.

- Sur une carte du réseau hydrographique, ils apparaissent comme des troncs dépourvus de branches. Le Gallego est le plus spectaculaire à cet égard, mais le même phénomène apparaît sur l'Ega, l'Arga, l'Aragon sur une bonne longueur de son cours, et sur presque toutes les rivières du versant ibérique. Ces rivières ne reçoivent donc pratiquement aucune alimentation permanente à partir du moment où elles entrent dans la Dépression Centrale. Par contre, elles sont soumises à un climat qui active l'évaporation ; aux approches de l'axe de la cuvette, elles entrent dans la zone des gypses où se multiplient les possibilités de pertes par infiltration ; enfin, elles sont saignées à blanc par les hommes pour les besoins d'une agriculture qui sans eau, dans ce milieu aride, serait réduite à une céréaliculture fortement aléatoire.

- Cet aspect de tronc nu est d'autant plus frappant que le tracé des rivières dans la partie qui nous occupe est rectiligne. Au sortir des montagnes bordières qui leur ont donné naissance, ces rivières abandonnent en effet un tracé plus ou moins sinueux ou en baïonnette et, adoptant l'angle de plus grande pente, rejoignent directement leur collecteur commun. Ce caractère est frappant dès l'amont de la dépression, sur le Najerilla par exemple dont le cours se raidit dès qu'il aborde les terrains tertiaires, sur l'Iregua, et plus bas, le Jalon, le Huerva, mais aussi sur la rive gauche, l'Arba et surtout le Gallego. Ce phénomène n'est pas sans importance pour l'organisme collecteur. En évitant les convergences

dangereuses, et en assurant un échelonnement régulier des confluences, il rend moins dangereuses les crues issues de pluies synchrones.

Les vallées de ces différentes rivières ouvertes dans du matériel tendre, se présentent sous la forme d'amples couloirs bordés comme on l'a vu par des systèmes de terrasses et de glacis jalonnant les étapes de l'enfoncement du réseau. La plus ancienne de ces terrasses se situe, dans la partie centrale de la cuvette, vers 300 à 400 m.B. Bomer (1957) sur le Gallego et S. Mensua (1958-1964) sur l'Aragon et le Cidacos (affluent de l'Aragon) ont repéré 5 niveaux de terrasses et de glacis résultant d'autant de pulsations climatiques.

La traversée des zones gypseuses se traduit par l'apparition au long des rivières de falaises vives, verticales qui constituent un des traits caractéristiques du paysage centre-aragonais. Ces escarpements, se trouvent en particulier le long du Huerva inférieur, où ils sont de dimension modeste : 20 à 40 m de hauteur, et aussi, on le verra, le long de l'Ebre où ils donnent des reliefs de plus grande importance.

En ce qui concerne les plaines d'inondation, il faut introduire ici une distinction entre rivières ibériques et rivières pyrénéennes. Les premières ont un lit d'inondation le plus souvent étroit assez encaissé et se confondant pratiquement avec le lit mineur. Au contraire, pour les organismes pyrénéens, Aragon et surtout Gallego, à fortes crues et grosse capacité de transport, la nécessité d'écouler des débits solides et liquides importants, a rendu nécessaire l'ouverture de vastes lits d'inondation, de plu-

sieurs centaines de mètres de large, au milieu desquels la rivière décrit en temps ordinaire, de nombreux méandres divagants, se divise en bras enserrant des îles caillouteuses. Ainsi se présente en particulier le Gallego dans le dernier tronçon de son cours, entre Peñaflor et Aula Dei.

C - LE VERSANT MEDITERRANEEN -

Si la délimitation du bassin supérieur au niveau de "Las Conchas" de Haro" n'a posé aucun problème, il n'en est pas de même pour le bassin inférieur où la situation se révèle plus complexe. En réalité, trois limites peuvent être envisagées selon le point de vue auquel on se place :

- Sur le plan structural, il ne fait pas de doute que le bassin inférieur commence à la traversée du premier chaînon appartenant à la Cordillère Catalane, c'est à dire, la Sierra del Tormo en aval de Flix.

- Sur le plan hydrologique, les caractères de l'Ebre inférieur sont acquis à la confluence du Sègre et ne varieront guère jusqu'à la Méditerranée.

- Sur le plan morphologique qui nous intéresse ici, c'est à partir du train de méandres d'Escatron que la vallée commence à s'encaisser et prendre cet aspect sauvage qu'elle gardera jusqu'à la racine du delta.

L'orientation de ce chapitre nous incline donc à opter ici pour la troisième possibilité.

1°/ Le cadre morphostructural :

Ainsi conçu, le bassin inférieur est une région au relief accidenté, de 50 à 60 km de large, que le fleuve doit scier en gorges grandioses avant de parvenir à la mer. C'est la structure très particulière du bassin, en cuvette fermée à l'aval qui vaut à l'Ebre cette originalité de toute première importance. En effet, le bourrelet montagneux constitué par la chaîne catalane, qui ferme à l'aval la cuvette structurale, joue ici, malgré sa faible largeur (30 à 40 km), le rôle d'une véritable barrière : barrière morphologique que le fleuve et les hommes traversent difficilement, barrière climatique à laquelle l'Aragon et la Catalogne intérieure doivent la nuance continentale de leur climat, barrière hydrologique enfin, drainée sur le flanc externe par de petits torrents méditerranéens extrêmement actifs, qui versent directement à la mer, et sur le flanc interne par de petites rivières, mal alimentées par des pluies rares et irrégulières, à sec une partie de l'année, ce qui vaut à nombre d'entre elles le nom de "Riu sec".

Sur le plan structural et morphologique, comme le faisaient prévoir les problèmes de délimitation, plusieurs secteurs sont à distinguer dans ce bassin inférieur, liés entre eux par l'histoire géologique.

- Un secteur amont, de Sastago-Escatron à la dépression de Flix.

- Un secteur médian constitué par la portion de cordillère catalane s'égouttant dans l'Ebre.

- Enfin le delta.

Le secteur amont, de Sastago à la dépression de Flix, doit au matériel qui le compose, - un ensemble de marnes continentales d'âge Oligocène armées de couches calcaires -, et au climat semi-aride qui règne ici, son aspect de plate-forme monotone et désolée, évoquant véritablement les paysages pré-sahariens. De rares ravins intermittents écorchent la surface de ces *llanos* et échancrent les versants abrupts par lesquels elle se termine au-dessus de l'Ebre. Tandis que le fleuve s'encaisse dans ces plate-formes tendues entre 300 et 400 m, à quelques kilomètres vers le Nord se creuse la dépression de Lerida. Il s'agit d'un ancien lac oligocène comblé par des molasses, des calcaires, des argiles et surtout des marnes jusqu'à l'altitude de 400 m, nappé de matériel de piémont, et recreusé ensuite sur 200 à 250 m de profondeur par le Sègre, le Cinca et la Ribagorzana. Au cours de leur enfoncement, ces rivières ont déterminé la formation d'un système de terrasses situées respectivement à 85-90 m, 50-60 m, 20 et 8 m d'altitude relative, qui donnent au paysage son caractère essentiel de pays taillé en gradins. Cette dépression est dominée à l'E par la plate-forme de la Segarra taillée dans des calcaires lacustres tandis que vers le N et NE, les sédiments oligocènes s'élèvent et se ploient en plis lâches. On se rapproche ici des confins orientaux de la dépression de l'Ebre où se développe au contact de la cordillère catalane une structure accidentée, bien différente des structures calmes de la zone médiane.

Ces caractères qui s'amorcent dans la partie Est du bassin de l'Ebre vont d'ailleurs s'accroître dans les bassins voisins du Llobregat et du Cardener.

Le secteur médian constitue entre l'aval de la dépression centrale et le delta, une bande étroite et montagneuse, large de 30 à 40 km, et étirée sur 90 km environ depuis les "Puertos de Beceite", au Sud-Ouest, jusqu'au massif de Prades, au Nord-Est. C'est un pays de formes structurales : cuestas, hog backs, synclinaux perchés et brays développées à partir de structures plissées d'âge pyrénéen fossilisées par les dépôts oligocènes, faillées puis aplanies au Pontien, exhumées enfin par les mouvements post-pontiens et l'enfoncement des vallées. Dans cet ensemble, plusieurs unités morphologiques peuvent être distinguées :

- A l'Ouest du Delta, sur la rive droite du fleuve s'élève le massif des "Puertos de Beceite" par lequel cette région se soude au Maestrazgo et à la Cordillère Ibérique. Ici, la forme dominante est la corniche, taillée dans des calcaires jurassiques ou crétacés, et associée à un élément tabulaire, plus ou moins incliné : revers de cuesta, retombée périclinaled'un dôme ouvert en bray ou rebord de synclinal perché. Certains secteurs encore empâtés par les poudingues qui à l'oligocène ont fossilisé la presque totalité des pays du Bas-Ebre, présentent cet aspect ruiniforme si caractéristique de ce genre de roche. C'est le cas dans la région de Valderrobres, sur le versant intérieur du massif. L'ensemble de la région, affecté par une tectonique de blocs, a été cassé et soulevé en masse, et se dresse brutalement au-dessus de la Vall de Tortosa à l'Est, et de la dépression d'Ulldecoma au Sud-Est.

- Ce style tectonique se prolonge sur l'autre rive de l'Ebre, par la Sierra de Tivissa et le plateau de la Llaveria : reliefs moins élevés (918 m à la Llaveria), plus empâtés que dans le secteur précédent, où la forme dominante est la "Muela", table de calcaire triasique ou jurassique. Cet ensemble se termine à l'Est par la cuesta de Argentera, taillée dans les calcaires et grès triasiques, qui forme la ligne de partage des eaux entre le versant de l'Ebre et celui de la Méditerranée.

- Plus au Nord, en arrière de Tarragone, une sédimentation mésozoïque moins puissante que dans le secteur méridional a permis à l'érosion d'atteindre le substratum. Ainsi le Priorato, dans la région de Falset est un grand dôme ouvert en boutonnière jusqu'aux grès rouges et violacés du trias, et surtout aux schistes primaires. Ce matériel donne un pays de collines aux formes douces, ceinturé de hautes murailles calcaires taillées dans la couche qui formait la carapace du dôme. Au loin vers le Nord, on aperçoit depuis Falset la vaste et imposante muraille verticale du Montsant dressée à 1139 m, formée de poudingues oligocènes dégagés par l'érosion, qui jalonne la retombée de la cordillère catalane sur la dépression de l'Ebre.

- En arrière de ces reliefs, le long de la vallée de l'Ebre, s'ouvre la cuvette de Mora : belle dépression de 20 km de diamètre, correspondant à un synclinal faillé, bourré de matériaux oligocènes recouverts par des formations alluviales quaternaires que l'Ebre retaille en terrasse.

- Au-delà des gorges de Benifallet qui coupent les derniers chaînons montagneux, cette région s'ouvre progressivement

sur le delta par la "Vall de Tortosa", vallée tectonique en forme d'entonnoir, comblée par des matériaux détritiques pontiens, les sédiments marins de la phase marine pliocène, enfin les alluvions quaternaires. Elle est dominée à l'Ouest par le mont Caro dressé brutalement à 1400 m d'altitude grâce au rejeu récent (pliocène) de la faille bordière, au Sud par les massifs isolés de Godall et Montsia, témoins du bloc effondré pointant au-dessus du remplissage récent grâce à une remontée anticlinale des couches de calcaire crétacé.

Peu après Tortosa, à Amposta, commence le delta, un des plus beaux deltas de la Méditerranée, 520 km² de surface, 27 km de long jusqu'à l'île de Buda, 20 km de large à la base. Contrairement aux deltas du Rhône, du Nil ou du Danube, profondément enracinés dans les terres, celui de l'Ebre s'avance en pleine mer où il dessine une flèche élégante ponctuée à son extrémité par le phare de Buda - spectacle étonnant, vu d'avion, que celui de ses lagunes scintillant au soleil, cernées par d'étroits cordons d'atterrissements. Qui penserait en voyant ces formes si nettement dessinées que la morphologie de cette région est aussi capricieuse et puisse se modifier en quelques jours sous la pression des eaux marines poussées vers le continent par les tempêtes hivernales. Mais ceci est vrai surtout pour la partie aval, la plus aventureuse dans la Méditerranée. La racine, déjà mieux ancrée dans le continent, n'est plus disputée à l'homme par la mer. C'est le domaine des rizières, en attendant sans doute, un jour prochain, d'être celui des prairies d'élevage. Pays aux horizons très larges, bornés seulement par les lignes de peupliers qui jalonnent les chemins et surtout les

deux grands canaux d'irrigation issus de la prise du Cherta.

2°/ Le ruissellement affluent :

L'altitude relativement élevée de ce secteur, sa position par rapport aux vents pluvieux méditerranéens, en font une zone de condensation relativement importante. Pourtant elle ne donne naissance à aucun affluent de premier ordre. C'est que le morcellement du relief, la nature des sols, souvent calcaires, ne permettent guère la constitution d'organismes de drainage de quelque importance. Le ruissellement est avant tout un ruissellement intermittent, typiquement méditerranéen : une multitude de "barrancos" de quelques kilomètres de long au profil tendu, profondément incisés dans le matériel rocheux, débouchent sur la vallée de l'Ebre, faisant percer un danger permanent sur les riches cultures des terrasses.

A côté de ces ravins, véritables oueds africains, peu d'organismes pérennes de quelque envergure. Citons seulement le Ciurana affluent de rive gauche, qui profite de l'imperméabilité des schistes primaires pour développer un réseau relativement dense, et le Matarraña, au Sud, né de la réapparition en quelques grosses sources de type karstique, des eaux enfouies sur le massif des Puertos de Beceite. Issu du versant intérieur de ces reliefs, il se dirige ensuite vers la Dépression de l'Ebre, traçant au-dessus des marnes et grès continentaux de son bassin, puis des marnes et calcaires, un cours accidenté de nombreux méandres, en particulier dans le secteur aval. Le Matarraña apporte ainsi à l'Ebre les eaux d'un bassin versant de 1771 km². C'est donc un organisme de deuxième

ordre, long de 74 km, mais rachetant sur cette faible distance, une dénivellation de 1342 m, ce qui donne une pente moyenne de 18,1 ‰, semblable par conséquent à celle des affluents du massif du Demanda-Urbion. Ces pentes fortes, sous un climat contrasté, ont fait de cet affluent un organisme irrégulier, au tempérament typiquement méditerranéen. Des rivières méditerranéennes, il a d'ailleurs aussi l'aspect extérieur, avec son lit de largeur démesurée, au milieu duquel, à la fin de l'été, quelques maigres filets d'eau dessinent entre les cailloux de fantaisistes entrelacs.

Fait étonnant, après avoir parcouru tout le bassin de l'Ebre, le Mataxraña nous est apparu comme le seul des affluents de quelque importance présentant une parenté évidente avec les torrents cévenols ou provençaux, les "potamos" grecs ou les rivières de l'Apennin.

C H A P I T R E I I

LE RESEAU HYDROGRAPHIQUE ET LE FLEUVE

SECTION I - CARACTERES GENERAUX DU RESEAU HYDROGRAPHIQUE -

A - LA FORMATION DU RESEAU -

Le réseau de l'Ebre s'est organisé en fonction de la gouttière centrale où se trouve aujourd'hui installé le collecteur. Cependant cette gouttière ayant été occupée par un lac durant une grande partie du Tertiaire c'est sur le pourtour montagneux que sont apparus les premiers organismes de drainage. Aussitôt réalisée la vidange du lac tertiaire, un collecteur unique, s'est installé vers lequel ont convergé les rivières déjà constituées. Enfin aussi bien à l'intérieur qu'aux limites du bassin des réajustements ont été réalisés sous la forme de tronçonnements et captures. En schématisant, on peut donc dire que l'histoire de la formation du réseau s'est déroulée en trois étapes.

1° / La mise en place du réseau sur les reliefs bordiers :

a) Dans les Pyrénées , la situation est différente de part et d'autre du Cinca. A l'Est de cette rivière les premiers affluents pyrénéens ont dû s'établir dans le sens NS sur le plan incliné des poudingues oligocènes qui formaient une couverture discordante voilant les structures profondes ; c'est pourquoi dans toute cette partie de la chaîne les grands affluents sont aujourd'hui épigéniques. Seuls, quelques-uns de leurs tributaires, toujours de petites dimensions, se sont installés dans des vallées longitudinales. A l'Ouest, la situation est différente. Les Prépyrénées oscennes se sont soulevées plus tardivement, à partir de la fin de l'oligocène. Les poudingues ont donc été plissés en même temps que la série mésozoïque et éocène. Les rivières ont dû alors s'adapter à la direction des plis et aux différences de résistance des roches. Ainsi s'est constituée de Sabinanigo à Sangüesa, une longue vallée de 80 km de long, orientée E-W et occupée par un pré-Aragon-Gallego. Cette rivière débouchait dans la dépression de l'Ebre au niveau de Sangüesa après avoir percé une ondulation des Sierras Extérieures modelée dans de l'oligocène tendre. Les Sierras Extérieures formaient alors une ligne de partage des eaux séparant le bassin de l'Aragon-Gallego des rivières prépyrénéennes qui se dirigeaient vers le lac de l'Ebre.

b) Sur le versant N du Système Ibérique, les rivières se sont installées le plus souvent en fonction de la ligne de plus grande pente. Des soulèvements tardifs ont provoqué une reprise

d'érosion et l'enfoncement des cours d'eau qui présentent aujourd'hui de nombreuses sections épigéniques. Cependant, B. Bomer a démontré en 1956 le rôle qu'ont joué dans l'organisation du réseau du Jalon, les mouvements tardifs, post-pontiens. Selon cet auteur, la convergence hydrographique de Calatayud par exemple serait liée à un gauchissement transverse ; de même une grande partie du cours du Jalon se serait fixée en fonction de cet accident.

2 / la formation de l'Ebre :

A la limite Pontien-Eliocène, des modifications considérables interviennent dans la cuvette centrale. A la suite d'un soulèvement d'ensemble de ce secteur accompagné sans doute d'une oscillation climatique, les eaux du lac miocène se déversent dans la Méditerranée par-dessus les chaînes catalanes. Le phénomène a peut-être été facilité par l'enfoncement tectonique des cuvettes de Mora et Tortosa, et la présence d'un Ebre inférieur qui, déjà, perçant les Sierras de Valiplana et de Cardo, réunissait entre elles ces dépressions. Alors, à l'endoréisme a succédé un drainage exoréique par suite de la formation d'un Ebre Aragonais réunissant les deux tronçons qui existaient déjà à l'amont et à l'aval. On sait que la position exacte de ce collecteur s'est trouvée fixée un peu au S de l'axe de la cuvette par suite du mouvement de bascule survenu fin miocène. Restait alors aux affluents pyrénéens et ibériques à se raccorder au nouveau fleuve. Les derniers mouvements de surrection des chaînes bordières déterminèrent les modalités de ce raccord qui se fait sous la forme de tronçons rectilignes et perpendiculaires au collecteur. Dès lors, le réseau était constitué : les modifica-

tions qui sont intervenues par la suite, n'ont été que des modifications de détail sous la forme essentiellement de captures, soit à l'intérieur même du bassin, soit aux limites et dans ce dernier cas, c'est l'aire de drainage de l'Ebre qui s'est trouvée modifiée.

3°/ Les réajustements dans le réseau : tronçonnements et captures :

a) A l'intérieur du bassin, les derniers mouvements positifs des Sierras Extérieures ont exalté le pouvoir érosif des petits affluents prépyrénéens qui ont progressivement reculé leur tête de source. C'est au cours de ce recul que l'un d'eux, dépassant l'alignement montagneux qui servait de ligne de partage des eaux, a capturé la partie supérieure de l'Aragon-Gallego pour en diriger les eaux directement vers l'Ebre. Ces modifications se placeraient selon L. Solé Sabaris (1942) au cours de l'interglaciaire Mindel-Riss.

b) Aux limites du bassin, des réajustements semblables ont eu lieu, qui se sont traduits par des oscillations de détail de la ligne de partage des eaux. A l'amont, ces réajustements se font aux dépends du réseau de l'Ebre. Ils sont l'oeuvre de petites rivières cantabriques rendues plus agressives par la proximité de leur niveau de base qui commande des pentes fortes et un profil tendu. Déjà en 1920, V. Mengaud signalait la menace que faisait planer le Besaya sur l'Ebre lui-même dans la région de Reinosa. Mais c'est un peu plus à l'Est, au niveau du Valle de Mena, que le phénomène est le plus spectaculaire. Là de part et d'autre d'un

seuil de 800 m, à 20 ou 30 m au-dessous de ce niveau, et à quelques kilomètres de distance, naissent 2 ruisseaux dont l'un est tributaire de l'Atlantique par Le Valmaseda et le Nervion, et l'autre, le rio Cerneja s'oriente, au moins en apparence vers la Méditerranée. En réalité, J. Hazera a démontré en 1959 que les eaux du bassin amont de cette rivière allaient aussi à l'Atlantique, par suite d'une capture souterraine. Plus loin malgré leur altitude et leur massivité, les Pyrénées n'ont pas empêché un développement capturant des rivières aquitaines et océaniques aux dépens des cours d'eau méditerranéens. On a vu dans le chapitre précédent le cas bien connu de la capture du haut Esera par la Garonne. Ici encore, le bassin de l'Ebre s'est trouvé amputé de quelques km² de bassin versant.

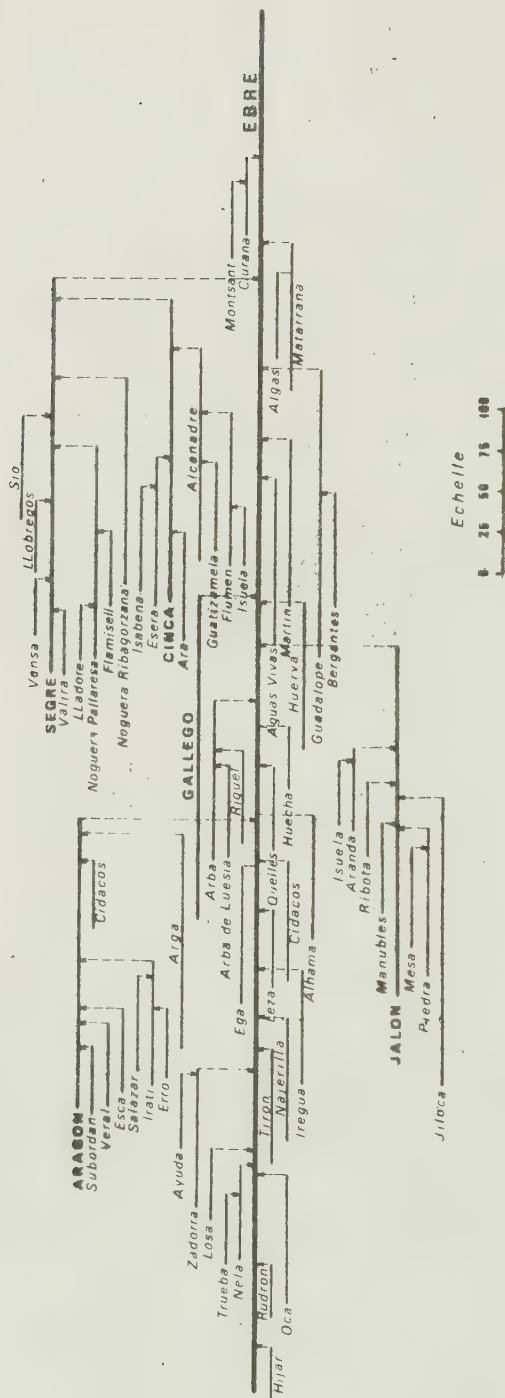
Sur le versant ibérique, la situation est différente. On constate que le Jalon a progressivement poussé sa tête de source au-delà du Système Ibérique jusqu'à mordre profondément dans la Meseta Castillane, tandis que les petites rivières en amont du Moncayo ont contribué à élargir le domaine de l'Ebre aux dépens de celui du Douro.

Ainsi peu à peu au cours d'une histoire géologique relativement récente, s'est constitué ce vaste réseau drainant au Sud des Pyrénées une aire vaste de près de 85000 km².

B - L'ORGANISATION DU RESEAU : ECHELONNEMENTS ET CONVERGENCES -

L'histoire que nous venons d'évoquer explique le tracé

Fig. 3: SCHEMA DE L'ORGANISATION DU RESEAU DE L'EBRE



des rivières, et en particulier celui du fleuve lui-même : un tracé étonnamment rectiligne accidenté seulement à l'amont et à l'aval de deux sinuosités de sens contraire. La première, en amont, se situe en face du seuil de la Bureba, la deuxième semble résulter de l'attraction exercée sur le fleuve par la cuvette de Léridan~~ne~~. Entre les deux, le cours est fixé par l'axe de la flexure fini-miocène du bassin.

De part et d'autre du fleuve, et d'amont en aval, les types de drainage varient en fonction de la structure, de la lithologie, du climat, et même de la forme du bassin.

1°/ Le réseau en échelle du bassin amont :

L'examen de la carte nous montre un réseau en échelle dont les constituants sont, en règle générale, des organismes simples, et de faible longueur (60 à 80 km), drainant par conséquent des bassins versants de taille réduite, de l'ordre du millier de kilomètres carrés pour les plus grands. Le plus important, le Zadorra, mesure 88 km de long et draine 1353 km². La forme du bassin supérieur de l'Ebre : un triangle isocèle éfilé vers l'amont, et dont la base au niveau de Miranda mesure à peine une centaine de kilomètres, fait que la ligne de partage des eaux n'est jamais très éloignée de l'axe de la gouttière : 50 km au maximum. Cette disposition n'autorise pas de grands organismes et explique d'autre part la taille croissante des affluents d'amont en aval.

Ainsi, sur les 140 premiers kilomètres de cours, l'Ebre

ne reçoit aucun apport affluent notable. Ses tributaires ne sont ici que de petits ruisseaux, de quelques kilomètres de long, éche-
lonnés de façon assez irrégulière. Nombreux dans le bassin de Reinosa et les abords du lac de retenue, ils se raréfient à la traversée des plateaux gréseux et surtout des massifs calcaires. Parmi eux, seul le Rudron mérite le nom d'affluent.

A partir du confluent de l'Oca, et sur les 61 km qui séparent ce point du défilé de Haro, deux zones de convergence se dessinent : la première réunit, assez curieusement d'ailleurs, de part et d'autre de la Sierra de la Teste, et non dans une cuvette, trois affluents représentant ensemble 2500 km² de bassin versant. Il s'agit de l'Oca, sur la rive droite, du Nela et du Jerea sur la rive gauche, dont les confluences s'échelonnent sur une dizaine de kilomètres seulement.

A 50 km de là environ, la plaine de Miranda rassemble les eaux du Bayas et du Zadorra venues des montagnes cantabriques, et de l'Orcuncillo issu du piémont ibérique. On est tenté d'ajouter le Tiron, bien que la confluence située immédiatement au-delà du défilé de Haro, en fasse un affluent du bassin moyen. Mais dans la perspective qui nous occupe et vu la faible distance qui sépare son confluent de celui du Zadorra, nous avons pensé qu'il ne fallait pas perdre de vue le rôle que peut jouer cette rivière et la part d'explication qu'elle peut apporter dans certains phénomènes hydrologiques. Au total de sont donc 3000 km² environ de bassin versant qui s'écoulent dans l'Ebre entre Miranda et Haro sur une distance de 17 km

Certes, ce ne sont pas les écoulements de ces 3 ou 4000 km² de bassin versant qui peuvent constituer un danger bien important, d'autant que nous sommes ici en climat océanique, et non méditerranéen, qu'une partie de substratum est calcaire et même gypseux (bassin moyen du Tiron) et que, enfin, les rivières qui convergent viennent les unes du versant Nord, les autres du versant Sud. Dans ces conditions en effet, les systèmes nuageux dont les plus virulents viennent du NW par-dessus les seuils basques, arrosent d'abord les affluents de rive gauche, puis ceux de rive droite. Il doit donc y avoir un léger décalage entre les heures des maxima pluviométriques, et par conséquent des pointes de crue, sur ces différentes rivières. Toutefois il est certain que, lors des épisodes pluvieux prolongés - et c'est souvent le cas dans ce milieu climatique - ces deux zones de convergence doivent contribuer fortement à la genèse des crues du bassin supérieur.

2°/ Les grandes convergences de l'Ebre moyen :

A la collection de petites rivières d'amont, de longueur réduite, au bassin longiligne, aux confluences assez régulièrement échelonnées s'oppose un drainage du bassin moyen par de grands affluents constituant à eux seuls des réseaux vastes et complexes.

Tout d'abord, en ce qui concerne le drainage de base, nous constatons une double opposition entre réseaux pyrénéens et réseaux ibériques. Sur le versant Pyrénéen, on remarque à l'amont une très forte densité de drainage, sauf dans quelques secteurs corres-

pendant à des affleurements de calcaire, comme le coude du rio Ara ou la région Iratí-Salazar.

Puis toutes ces eaux sont progressivement rassemblées par trois affluents (1) au réseau déjà bien hiérarchisé puisqu'il comporte une rivière principale, des tributaires et des sous-affluents.

Sur le versant méridional, les systèmes sont plus simples, constitués seulement par un affluent et quelques sous-affluents de longueur parfois considérable (126 km pour le Jiloca), mais dépourvus de tributaires. La densité de drainage est donc faible, voire très faible en particulier sur les hauts bassins du Jalon et du Jiloca.

La concentration des eaux des deux versants en 4 grands organismes seulement pourrait constituer un grave danger en temps de crue si plusieurs d'entre eux convergeaient vers le fleuve en des points rapprochés. Or l'histoire géologique récente a déterminé au contraire des confluences espacées. Les deux plus importantes, celles de l'Aragon et du Sègre se situent presque aux deux extrémités du bassin moyen, et à 375 km de distance. Entre les deux, l'écart moyen entre les confluences est de 34 km. Mais cette valeur ne signifie pas grand chose puisqu'on la doit surtout aux affluents de rive droite plus nombreux que ceux de rive gauche (9 contre 2 seulement) mais au rôle hydrologique beaucoup plus effacé. De plus,

(1) ou Cinq, si l'on considère l'Arga et le Cinca comme des affluents de qui est souvent le cas, vu la situation de la confluence, et l'importance de ces cours d'eau.

l'examen des seules confluences avec le collecteur principal masque un peu la réalité des faits. Les grandes convergences se faisant un peu avant le débouché dans le fleuve.

Finalement, trois points de ce cours moyen retiendront notre attention :

- La convergence Aragon-Arga : Elle réunit à une dizaine de km avant la rencontre avec l'Ebre, deux rivières importantes et de longueurs voisines : 150 km pour l'Arga, 180 km pour l'Aragon (192 au total). Donc si nous comptons 160 km à partir de la confluence avec le fleuve, nous atteignons en remontant le cours des rivières, non seulement les hauts bassins de l'Aragon et l'Arga, mais aussi ceux de l'Ega et de l'Iregua. C'est dire que dans le cas de pluies synchrones sur la zone pyrénéo-cantabrique (1), les eaux de ruissellement peuvent parvenir au collecteur principal à peu près en même temps.

- La deuxième convergence se situe dans le secteur de Saragosse. Là, au centre de la cuvette, et à 40 km l'un de l'autre débouchent deux des plus grands affluents de l'Ebre : le Jalon et le Gallego auxquels vient s'ajouter , à quelques kilomètres seulement en amont de ce dernier, le Huerva, la rivière de Saragosse. Cependant ici, contrairement aux apparences, il s'agit d'un phénomène sans grand retentissement, du fait de l'appartenance des bassins à des domaines climatiques différents, et surtout, on le verra, du fait de la pauvreté des rivières ibériques.

(1) Ces types de pluie intéressent aussi le secteur NW du Système Ibérique, donc le bassin de l'Iregua.

- La plus spectaculaire des convergences se situe à la limite du bassin moyen et du bassin inférieur. Là en effet, à 8km seulement du fleuve, se réunissent les eaux des deux plus grands tributaires de l'Ebre : le Sègre long de 280 km et le Cinca, 217 km. Etant donné la faible part prise par le Sègre cerdan dans le déclanchement des crues, nous n'avons pas tenu compte du bassin supérieur de cette rivière, et nous avons recherché les secteurs situés dans un rayon de 180 à 200 km(1) à partir de Mequinenza. Nous avons atteint ainsi le bassin des Valiras, les hauts bassins de la Pallaresa, de la Ribagorzana, l'Esera vers Villanueva, le Cinca supérieur, l'Isuela affluent de l'Alcanadre et, sur l'autre versant le haut Guadalope. A l'exception du Guadalope (et encore avec des réserves que l'étude des crues nous permettra de préciser), toutes ces rivières appartiennent à un même domaine climatique et sont susceptibles de réagir aux mêmes flux perturbés, valorisant ainsi une des convergences les plus dangereuses du monde méditerranéen - au moins en apparence - . On verra en effet qu'elle n'a pas donné les crues sensationnelles que l'on était en droit d'attendre. Et ceci constitue l'une des énigmes que nous nous sommes efforcés de résoudre au cours de cette étude.

Malgré ce, la confluence de Mequinenza reste, avec celle de l'Aragon, l'un des deux points sensibles du bassin, au niveau desquels s'est constituée la quasi totalité des grandes crues que nous aurons à étudier.

(1) Distance du confluent à Mequinenza, à la sortie de la Cerdagne.

3° / La faiblesse du drainage dans le bassin inférieur :

Sur les 168 km qui séparent Mequinenza de la pointe du delta, l'Ebre ne reçoit plus que des affluents secondaires constitués le plus souvent par un tronc unique de 20 à 30 km de long. Le resserrement du bassin à ce niveau, le climat et la nature du substratum n'ont point permis en effet le développement de réseaux organisés comme dans le secteur précédent. Point de convergences non plus, si ce n'est celle, très secondaire, du Matarraña et de son affluent l'Algas qui se réunissent aux approches du fleuve après un parcours d'une soixantaine de kilomètres.

En conclusion et grâce aux travaux de l'ingénieur P.A. de Mesa (1865), il est possible de donner un tableau récapitulatif du nombre et de la longueur totale des affluents :

	Nb de rivières	Longueur en km
Rivière principale	1	900
Affluents principaux	4	827
Affluents secondaires	34	2664
Affluents de 3 ^e catégorie	94	1987
	133	6378

Dont :

Fleuve principal : 900 km.

Affluents de rive droite: 2 101 km.

Affluents de rive gauche: 3 377 km.

SECTION II - LE FLEUVE DANS SA VALLEE -

A - L'EBRE CANTABRIQUE -

Selon la tradition, c'est à Fontibre, à 888m d'altitude, dans le paysage reposant de la dépression de Reinosa, largement épanchée au pied des monts Cantabriques, que l'Ebre prend sa source. Au grand fleuve de l'Espagne du Nord, il fallait une naissance digne du destin que lui réservait la nature. Or il y a là, au pied de l'église du village, au fond d'un petit vallon dont la rête s'incruste assez vigoureusement dans la masse gréseuse, un ensemble de sources que l'on voit bouillonner doucement, même au cœur de l'été, au moins pour ce qui est des trois principales : "El nacimiento del río" - la plus permanente -, la "Fontanuca", et "El Pozo de los Muertos". La quatrième "Fuentona", plus superficielle sans doute, est généralement à sec en juillet-août. La réunion de ces eaux donne naissance à un ruisseau tranquille, encombré de joncs, nénuphars et plantes aquatiques, qui serpente au ras des prés entre des haies de peupliers. Mais si la tradition orale et populaire, a vu dans les sources de Fontibre l'origine du fleuve, la tradition administrative, elle, nous apporte une optique quelque peu différente. J. Jornada de Pozas, dans son "Mapa agronomico Nacional" (1950) signale que les premiers ingénieurs des Ponts et Chaussées qui, à la fin du siècle dernier se sont penchés sur ce problème des origines de l'Ebre, ont adopté comme point de départ le Pont du Rianco à 988m d'altitude et 108m plus haut que Fontibre. C'est ce point, où se réunissent plusieurs ruisseaux descendus de Peña Labra

LE COURS SUPERIEUR DE L'EBRE

L'Ebre cantabrique
dans le bassin de Valdivieso



L'Ebre cantabrique
Traversée de la
Sierra de la Teste



L'Ebre à « las Conchas »
de Haro
Vue vers l'amont



et de la Sierra del Cordel parmi lesquels le Rio Híjar, qui a servi d'origine lors de l'établissement du profil général du fleuve par l'ingénieur des Ponts et Chaussées Don Pedro Antonio de Mesa. En réalité, il est admis aujourd'hui que le cours supérieur de l'Ebre est constitué par ce qu'on a longtemps considéré comme le premier affluent du fleuve, le rio Híjar. Il s'agit d'un petit torrent de montagne aux eaux claires et sauvages, qui contraste vigoureusement avec le paisible ruisseau issu des sources de Fontibre. Il descend de la Sierra de Peña Labra, plus exactement du flanc Est du "Pico de las tres mares", lequel doit son nom au fait curieux qu'il s'égoutte dans trois directions : la mer Cantabrique par le ruisseau de Bullon, affluent du Deva, l'Océan Atlantique par le ruisseau de la Raya, sous-affluent du Douro par le Pisuerga, vers la Méditerranée enfin par l'Ebre. Le rio Híjar coule d'abord dans une vallée largement ouverte en berceau, dont le profil évoque une vallée glaciaire typique. Effectivement, les Monts Cantabriques ont connu dans leurs plus hauts secteurs, une petite glaciation locale, qui a atteint son maximum d'extension dans le secteur des "Picos de Europa" et laissé ici ses traces les plus orientales. Bientôt un V s'incise au fond de ce berceau de plus en plus profondément jusqu'à se substituer totalement à lui. C'est au fond de cette gorge que le Híjar poursuit sa course rapide, jusqu'au moment où il débouche sur la petite plaine bocagère de Reinosa où il s'assagit et perd progressivement une partie de son débit au profit des sources de Fontibre qu'il alimente ainsi souterrainement (L.Pardo, 1918), justifiant par là son choix comme véritable cours supérieur du fleuve.

A Reinosa, les deux ruisseaux se réunissent pour for-

mer un cours d'eau auquel le nom de Ebre n'est désormais plus contesté. Ce cours d'eau achève de traverser en serpentant la plaine de Reinsa puis, après un passage plus étroit de 2 km de long, débouche à Valdearroyo sur l'aval d'une nouvelle plaine largement évacuée où, depuis 1948 est logé le vaste "Pantano de l'Ebre", destiné à régulariser le cours du fleuve, et surtout à soutenir les débits estivaux. Il y avait là, en effet, un site favorable à l'installation d'un barrage réservoir : une dépression au sol imperméable, constitué par un niveau marneux intercalé dans les grès du Weald cantabrique, et à l'aval, un rétrécissement sur lequel est ancré le barrage. Plusieurs ruisseaux, relativement abondants dans ce milieu humide et imperméable, parmi lesquels l'Arroyo de la Virga et l'Ebre lui-même, alimentent le réservoir.

Il est curieux de constater combien les pentes de ce tronçon supérieur sont faibles. Des sources du Híjar, vers 1875 m d'altitude au "Pantano" la déclivité est seulement de 25 ‰, ce qui est déjà bien peu pour les 45 premiers kilomètres de cours, mais si l'on prend Fontibre comme origine, cette valeur tombe à 3,4 ‰, chiffre tout à fait exceptionnel pour un cours supérieur. Point n'est besoin d'ailleurs d'étudier les profils en long pour se convaincre du phénomène. Il suffit de voir serpenter dans la plaine ce ruisseau encombré d'herbes aquatiques, pour deviner combien les eaux circulent lentement.

Au-delà de Arroyo, la situation change rapidement. Les versants se redressent tandis que la rivière entaille les hautes plate-formes de grès décrites plus haut. Au ruisseau paisible des prairies de Reinsa, succède un cours d'eau d'allure plus torren-

tielle, circulant sur un lit de cailloux. Bientôt, quittant les "Paramos de la Lora", la rivière tourne vers le Nord pour s'engager dans la partie plissée du système cantabrique, zone modelée dans les calcaires fortement karstifiés du Crétacé supérieur, où les eaux se perdent, circulent souterrainement, pour réapparaître sous forme de résurgences. Jusqu'à las Conchas de Haro, le tracé est alors complexe, composé de segments faisant entre eux un angle droit. Ici, tantôt la rivière coule en position subséquente dans une vallée plus ou moins évasée, tantôt elle tranche, en défilés étroits, les chaînons calcaires des Monts Cantabriques. On a ainsi une succession d'élargissements relatifs d'amplitude croissante vers l'aval, séparés par de véritables canons comme ceux de Tudanca, Valdeocedo, Cereceda - un des plus sauvages -, Sobron, certainement le plus beau à cause du lac de retenue de Sobron qui se glisse à travers une enfilade de murailles calcaires verticales. Au sortir de ce dernier défilé, on débouche sur la plaine de Miranda, belle étendue céréalière très plate et très régulière, brusquement fermée à l'aval par un ultime étroit : celui de la Conchas de Haro, véritable porte sur un monde nouveau.

Lorsqu'il arrive au terme de cette première étape, longue de 194km, l'Ebre n'est autre chose qu'une petite rivière paisible, dont la pente moyenne depuis l'origine n'est que de 2,4 ‰ ou 6,7 ‰, selon qu'on considère la dénivellation depuis Fontibre ou depuis les sources du Híjar. Aucun point commun par conséquent avec la Garonne voisine. C'est que la Garonne est pyrénéenne dès le départ, l'Ebre ne le devient que plus tard, vers le milieu de son cours, après avoir reçu quelques-uns de ses plus importants affluents.

B - L'EBRE ARAGONAIS -

Lorsqu'il entre dans la dépression centrale, le fleuve se trouve libéré, pour plus de 500km de cours, de son corset de roches dures. Il coule désormais dans une vaste dépression bourrée de terrains tendres, faciles à éroder, qui lui fournissent une abondante charge solide et sont incapables désormais, sans l'aide de l'homme, de fixer un lit au tempérament vagabond. L'absence de végétation favorise elle aussi à la fois l'érosion des versants et celle des sols. Cette structure en cuvette et la nature du matériel contribuent puissamment à déterminer les caractères de cette vallée moyenne, caractères qui s'affirment surtout à partir de Logroño et qui ne changent guère jusqu'à Escatron.

Ce qui frappe d'abord dans ce secteur, c'est la belle ampleur de la vallée, étalée sur 5 à 8km de large et qui contraste par la couleur verte de ses "regadius" avec le "secano" voisin à l'aspect de paillason. Cette limite de couleur se double d'une limite topographique très nette. Le plus souvent en effet, les versants, taillés dans les formations miocènes, marnes et gypses, que couronne encore parfois la dalle des calcaires pontiens, se relèvent presque à la verticale. C'est que ce matériel, tendre mais cohérent, s'effondre par pans verticaux sous les coups de butoir du fleuve en crue, et le versant recule parallèlement à lui-même en gardant son allure de muraille, mais une muraille échancrée par une multitude de ravins aujourd'hui secs, sauf cas exceptionnel, mais qui ont jadis construit à leur débouché des cones de déjection si nombreux et si serrés qu'ils constituent parfois au pied du ver-

LE COURS MOYEN DE L'EBRE



L'Ebre à Saragosse

L'Ebre à Mequinenza
avant le confluent
du Segre-Cinca



sant, un véritable tablier de cônes coalescents. Le plus bel exemple de ces formes est certainement le cône d'Osera, si amplement développé avec ses 2 km¹/2 de rayon qu'il a empiété sur la vallée et repoussé le fleuve, l'obligeant à le contourner en un large méandre. La plupart des autres cônes mesurent 500 m à 1 km de rayon, certains sont plus petits encore.

Une autre particularité de cette vallée réside dans sa dissymétrie que souligne la dissymétrie de la mise en valeur et du peuplement. En effet, tout au long de ce secteur moyen, le fleuve oscille d'une rive à l'autre en une série de sinuosités à grand rayon de courbure, tandis que la plaine se développe tantôt d'un côté du fleuve tantôt de l'autre.

Ainsi en amont de Saragosse, en particulier au niveau de la Plana de Castellar, le fleuve ayant grignoté les terrasses de rive gauche est aujourd'hui accolé à la muraille miocène qui le surplombe de ses 60, 80 et même 100 m de dénivellation. C'est à la base de cette muraille que se trouvent les fameuses mines de sel de Remolinos, aujourd'hui abandonnées et dont on connaît la signification géologique. En aval de Saragosse, la situation s'inverse. Sur une quinzaine de kilomètres, c'est la rive droite, taillée en falaise d'une vingtaine de mètres que le fleuve suit de Miraflores jusqu'à El Burgo, tandis que sur la rive gauche, entre l'escarpement qui s'éloigne de la rivière, se glisse une bande alluviale atteignant jusqu'à 5 km de large. Les trois niveaux de terrasses caractéristiques de cette vallée moyenne en particulier entre Logroño et Sagasto, sont ici bien représentés. On les trouve, au niveau de Saragosse, respectivement à 10-15 m, 40 m et 60 m d'altitude relative,

où ils se raccordent bien aux trois terrasses inférieures du Gallego. La plus basse, donc la plus récente, étale sur un front de 3 à 5 km ses alluvions modernes qui, malgré leur extrême perméabilité, portent depuis longtemps, grâce à l'irrigation, de riches cultures. Aux approches de Vilafranca de Ebro, lorsqu'on parcourt la route Sagésse-Barcelone, on voit bientôt le fleuve se rapprocher dangereusement de la rive gauche qu'il menace à nouveau sur 7 à 8 km, jusqu'à Osera, ne laissant par moment au pied de la falaise que la largeur de la route, tandis que les regadius, sautant la rivière, vont se développer largement autour de Fuentes de Ebro, grâce à l'ampleur prise par les terrasses dans ce secteur, et aussi la présence de quelques grosses sources et d'un ruisseau : le Ginell dont les eaux sont entièrement utilisées. Ces regadius se poursuivent par ceux de Pina, Quinto et Gelsa, dans un secteur où, exceptionnellement, les deux rives s'épanouissent de façon à peu près symétrique. En approchant de Sagés, on voit la vallée perdre peu à peu sa belle ampleur, les rives se rapprochent, le fleuve s'encaisse et désormais se dessinent les caractères qui seront ceux de l'Ebre inférieur jusqu'à Cherta.

Le fleuve qui parcourt cette vallée, est désormais un fleuve relativement puissant. Cette puissance, il la doit essentiellement à la contribution de ses premiers affluents de rive gauche, venus de régions bien arrosées : l'Ega et l'Aragon grossis de l'Arga. Ce sont eux qui font de la petite rivière de Miranda un véritable fleuve : "El Ega, el Arga y el Aragon hacen el Ebro varón" (1) dit le proverbe aragonais. Pourtant les pentes ne sont pas

(1) *l'Ega, l'Arga et l'Aragon font du fleuve un adulte.*

extraordinairement élevées pour un secteur moyen, comme le montre le tableau ci-dessous.

TABEAU V : LES PENTES DE L'EBRE MOYEN

Station	Altitude m	Dénivellation m	Distance km	Pente ‰
(Haro { Sastago	440 132	309 sur	399	0,77
(Haro { Logrono	440 372	68 sur	62	1,1
(Logrono { Zaragoza	372 194	178 sur	245,5	0,72
(Zaragoza { Sastago	194 132	62 sur	91,5	0,67

Cette impression de relative puissance que donne le fleuve résulte en grande partie de l'ampleur du lit mineur. Si celui-ci n'atteint que 100m de large au niveau de Saragosse, où il est relativement étriqué entre des berges artificiellement surélevées, ailleurs, il s'étale souvent sur plusieurs centaines de mètres, en particulier lorsqu'il se divise en bras multiples enserrant des îles caillouteuses plus ou moins colonisées par une végétation arbustive de bord des eaux. C'est au niveau de Pina que ce

phénomène est le plus spectaculaire. Le fleuve se divise ici en trois bras, isolant trois îles principales qui portent une végétation arborescente, et atteint au total plus d'un kilomètre de largeur.

Le caractère capricieux du cours se traduit encore par la multiplication des méandres. En effet, tout au long de ce secteur moyen, le fleuve se tord en de multiples sinuosités qui lui font parcourir entre Saragosse et Sastago 90 km, alors que la distance est seulement de 55 km. Localement, le rapport trajet réel-distance peut être encore plus élevé. Ainsi les deux méandres qui se dessinent entre Villafranca de Ebro et Osera, imposent aux eaux du fleuve un trajet de $7 \text{ km} / 2$ qui leur permet d'avancer de 4 km seulement vers l'aval. Ces sinuosités ont presque doublé la longueur du cours, mais pas tout à fait car ces méandres sont généralement assez cuverts, la longueur d'onde de l'ondulation étant généralement égale ou supérieure à l'amplitude. Les valeurs de cette dernière se situent autour de $1 \text{ km} / 2$, 2 km, sauf pour le grand méandre du Juslibol immédiatement à l'amont de Saragosse, qui se développe sur $2 \text{ km} / 2$ de rayon.

Ce lit mineur est incrusté de 4 à 5 m dans un ample lit majeur accidenté de plages caillouteuses ou graveleuses, de zones marécageuses et surtout de bras abandonnés, dans un état d'assèchement plus ou moins avancé et que réoccupent souvent les eaux de crues. Ce sont les "Cascaros" ou les "Ebro viejos" de Saragosse, témoins de tracés aujourd'hui abandonnés et d'une dangereuse tendance à la divagation et aux changements de cours. En effet, le fleuve utilise sa puissance brute à deux fins :

Une partie est utilisée pour les transports solides.

Si la charge en galets et graviers est assez peu importante - elle est fournie surtout par les affluents pyrénéens, le bassin amont taillé essentiellement dans des grès et des calcaires fournit du matériel qui s'amenuise assez vite par désagrégation physique et dissolution chimique -, par contre, la turbidité est très grande. Les terrains friables de la vallée fournissent en abondance des produits fins transportés en suspension. Sans compter une grande quantité de sels solubles - et la rivière a toujours, même en étiage, un aspect très limoneux et une couleur variant de l'ocre, au rouge (ceci lors des crues du Jalon) en somme, un aspect qui incite peu à la baignade, même par les chaleurs caniculaires de l'été aragonais.

La puissance disponible est employée, en particulier en temps de crue, à éroder les berges et déplacer les méandres. Travail rendu particulièrement aisé par la nature des terrains.

Ainsi dans le passé, de véritables catastrophes se sont produites en divers points de la vallée. Dans son "Mapa agromonico nacional", J. de Pczas (1950) rapporte que le secteur en amont de Saragosse, où la rivière est accolée à la "Muela" appelée "El Castellar", a connu à une époque dont l'histoire n'a pas retenu la date exacte, mais qui se situe peu avant 1461, des éboulements importants, entraînant une brusque variation du cours (1).

(1) Ces événements nous sont connus par suite de la querelle survenue alors entre les habitants de la Rabal et ceux de la Ortilla, au sujet de l'irrigation des terres appartenant à ce dernier village. En effet, ces terres relevaient avant ces événements des regadius de Almozara, situé sur la rive droite du fleuve. La crue les ayant fait passer de l'autre côté, les habitants de Rabal ne voulurent pas les inclure dans leurs propres irrigations. Il fallut construire, par-dessus le fleuve, une conduite en bois que chaque crue emportait. La question fut réglée finalement en 1461.

Cette même crue qui valut aux habitants de la Ortila tant de soucis, entraîna une autre variation de cours en face de Saragosse cette fois ; variation qui resta longtemps inscrite dans le paysage sous la forme d'un méandre abandonné appelé "Balsas del Ebro viejo". Sur les photos aériennes, ce méandre est bien visible, en particulier sa branche aval qui se dirigeait perpendiculairement au cours actuel vers l'église du Pilar dont elle menaçait les fondations. Aujourd'hui, le cours du fleuve est stabilisé sur sa rive droite, en particulier au niveau de la basilique par un puissant mur de défense, tandis que sur la rive gauche, le bras mort a été comblé lors de l'aménagement d'une des grandes rues commerçantes de la ville : la Calle Don Alfonso 1^o. Ce bras mort qui servait de lavoir public, constituait un foyer d'infection, et représentait pour les habitants du faubourg Nord de Saragosse, l'Arrabai, une sérieuse nuisance. Aujourd'hui, rempli avec les décombres de la ville, planté de peupliers, il constitue face au quartier monumental de Saragosse une magnifique promenade dite "arboleda de Macanaz".

Les cartes hors-texte V et VI, réalisées par M.L. Frutos (1970) , à partir des feuilles topographiques au 1/50.000e. et des photographies aériennes, donne une idée de l'extrême sensibilité du cours à la moindre crise hydrologique. La multiplication des bras morts témoigne d'autant de migrations, donc d'autant de catastrophes. De Saragosse à Osera, trois secteurs semblent particulièrement sujets à ce genre de divagation :

- Le secteur du méandre de la Cartuja.
- Celui de El Burgo.

- Celui du train de méandres de Villafranca de Ebro-Osera. Là, en 1930, les habitants d'Osera ont vu disparaître la presque totalité de leur huerta.

Cette carte peut-être complétée par le croquis des variations du cours de l'Ebre depuis 1890 (fig. VII, hors texte) que nous empruntons à J. Jornada de Pozas (1950). On y voit les principales modifications subies par le fleuve depuis cette date. Ces modifications ont affecté le cours essentiellement en aval de Saragosse et en particulier au niveau de deux des points sensibles déjà relevés :

Le méandre de la Cartuja et les deux méandres de Villafranca de Ebro-Osera.

En amont, seul le méandre de Monzalbarba (autre point sensible) a vu sa forme notablement modifiée.

En dehors de ces changements importants on remarque encore la tendance très nette des méandres à migrer vers l'aval. Cette instabilité du cours qui constitue le caractère le plus spectaculaire de cet Ebre moyen permettra de voir la part de responsabilité qui doit être attribuée à la rivière et celle qui revient à la nature des terrains.

C - L'EBRE CATALAN -

Aux approches de Sagunto, on voit l'horizon se rapprocher peu à peu, la vallée retraits, et l'on entre bientôt dans un monde nouveau. Pour passer de la dépression intérieure à la zone côtière, le fleuve doit en effet percer d'abord la masse des con-

glomérats oligocènes accumulés sur le flanc intérieur de la cordillère catalane, scier ensuite en de pittoresques gorges épigéniques, les différents chaînons qui constituent cette cordillère. La vallée est donc très variée. Jusqu'à Mequinzenza, à la confluence du Sègre, le fleuve traverse un véritable désert. Il a incrusté son cours entre deux mésetas qui étaient leur surface dénudée entre 350 et 400 m, tandis que le fond de la vallée se tient entre 100 m au confluent du Guadalope et 70 m à Mequinzenza. Les terrasses qui dans le secteur précédent s'étalaient largement de chaque côté du fleuve sont réduites désormais à de minces bandes occupées par des huertas. Mais on est encore ici dans une région de transition. Si le paysage morphologique a changé, - ce ne sont plus les vastes espaces de la dépression intérieure -, le climat n'a guère évolué, la végétation hors des zones irriguées est toujours aussi steppique, et le régime, on le verra, est à peu de chose près le même qu'à Saragosse. A Mequinzenza, dans un site très rude, au fond d'une vallée profondément enfoncée dans un matériel qui s'écroule, le fleuve reçoit son principal affluent : le Sègre. Un château juché sur l'éperon de confluence, couronne ce paysage d'une âpre beauté.

Désormais, l'Ebre inférieur est constitué mais sa vallée garde encore le même aspect jusqu'aux environs de Flix. A partir de ce secteur, elle se résoud en un véritable chapelet de dépressions plus ou moins épancues séparées par des gorges grandioses, taillées dans les chaînons calcaires ou dolomitiques, ou dans les conglomérats qui les empâtent. Successivement le fleuve traverse le bassin de Flix où s'étale aujourd'hui un lac de retenue, scie à travers la Sierra del Tormo, premier chaînon de la cordillère

L'EBRE INFERIEUR



Le méandre de Cherta
(au premier plan
le canal de rive droite)

L'Ebre à Tortosa



catalane, les gorges de Vinèbre à Garcia, se repose un instant dans la belle cuvette de Mora, plantée d'arbres fruitiers et dominée par le château arabe de Miraveç avant d'affronter sa dernière épreuve: la traversée de la Sierra de Vallplana par les gorges de Benifallet d'une grandiose beauté. Le fleuve qui circule ici grossi de l'apport du Sègre, n'a plus l'aspect un peu souffreteux qu'il avait dans la dépression. C'est un fleuve majestueux, donnant une impression d'abondance, qui coule entre les falaises atteignant parfois 200 m de haut sans jamais donner au paysage un aspect étriqué. A partir de Cherta, l'étreinte se desserre permettant le développement, sur 25 km de long et quelques kilomètres de large, de la belle vallée de Tortosa, la "Vall de Tortosa", aux terrasses colonisées par les orangers, une des plus riches régions agricoles de la Catalogne. C'est à l'entrée dans cette plaine, à Cherta, que se détachent les deux grands canaux de rive droite et rive gauche, qui ne rejoindront le fleuve qu'à la pointe du delta.

Tout au long de ce parcours, l'Ebre décrit d'amples méandres qui ont déjà été étudiées par Panzer (1948) en particulier au niveau de Flix où il a reconnu onze niveaux différents se présentant sous forme de terrasses rocheuses recouvertes d'une couche de sédiments : terrasses fossiles datant de la fin du Pliocène, début du Quaternaire, et jalonnant d'anciens tracés du fleuve.

En ce qui concerne les pentes, le tableau VI donne une idée de leur évolution depuis Escatron jusqu'à la mer.

TABLAU VI : LES PENTES DE L'EBRE INFERIEUR

Station	Altitude	Dénivelation m	Distance km	Pente ‰
(Escaron) Mer	124 0	→ 124	sur 270	0,45
(Escaron) Cherta	124 6	→ 118	sur 207	0,57
(Escaron) Guadalope	124 98	→ 26	sur 50	0,52
(Guadalope) Mequinenza	98 68	→ 30	sur 53	0,56
(Mequinenza) Cherta	68 65	→ 61,5	sur 105	0,58
(Matarraña) Mer	50 0	→ 50	sur 146	0,34
(Cherta) Mer	6,5 0	→ 6,5	sur 63	0,10
(Tortosa) Mer	1,36 0	→ 1,36	sur 47	0,03
(Amposta) Mer	0,12 0	→ 0,12	sur 31,5	0,0038

Si nous nous rappelons que, de Saragosse à Escatron, sur 108 km, la pente était de 0,64 ‰, nous constatons en première approximation que même en excluant la zone du delta, la pente a diminué par rapport au secteur précédent, mais les choses méritent d'être examinées dans le détail. L'adoucissement du profil se poursuit assez régulièrement jusqu'au confluent du Guadalope. Entre Escatron et ce confluent, sur 50 km, la pente n'est plus que de 0,52 ‰. Le resserrement de la vallée s'accompagne alors d'une accentuation de ces valeurs : 0,56 ‰ du confluent du Guadalope à celui du Sègre, 0,58 ‰ de ce point à Cherta. Et dans le détail on relève sur cette dernière section, des tronçons encore plus rapides : 0,8 m par kilomètre sur les 18 km qui suivent l'arrivée des eaux du Sègre, avec des maxima de 0,9 sur 7 km en aval de la Magdalena, et même 1 ‰ sur 2 km dans ce même secteur. Un peu plus loin, vers Mora, le fleuve descend de 2,75 m en 2,5 km.

Il est intéressant de comparer ce comportement avec celui des autres fleuves espagnols aux approches de leur embouchure. Nous donnons à cet effet le tableau suivant :

Pente de quelques fleuves espagnols de la cote 50 à

la mer :

- Tage (I)	0,24 ‰.
- Guadalquivir (I)	0,21 ‰.
- Guadiana (I)	0,31 ‰.
- Douro (I)	0,44 ‰.

(1) D'après J.P. Vialley (1970).

Avec 0,34 ‰, du confluent à la mer, l'Ebre se classe au deuxième rang après le Douro qui doit cette forte pente à l'aval à l'obligation, pour lui aussi, de traverser un bourrelet montagneux dressé à 1300 m de haut, avant de rejoindre l'Atlantique.

Si nous élargissons la comparaison aux autres fleuves d'Europe, nos constatations que les valeurs élevées ne trouvent guère d'équivalent que sur le Rhône. Plus précisément, entre Caspe et Mequinzenza, le profil de l'Ebre est comparable à celui du Rhône dans un secteur semblable (160 à 225 km de l'embouchure). Le même rapprochement peut-être fait entre la section Mequinzenza-Mora et son équivalent rhodanien Pont-St-Esprit-Avignon (90 à 150 km de l'embouchure).

Rapidité des pentes, rareté des champs d'inondation dans ce secteur, multiplication des gorges étroites font que les zones de bassin intérieur restent très pointues, et leur propagation rapide et dévastatrice. Comme dans le bassin moyen, elles peuvent entraîner le déplacement des rives et des modifications dans le tracé du fleuve. C'est le cas, chaque fois que celui-ci se libère de son corset de falaises rocheuses pour ouvrir son lit dans les terrains tendres de la dépression de Mora par exemple, ou de la Huerta de Tortosa. G. de Reparaz Ruiz (1938) rapporte que, devant Ginestà en aval de Mora, on pouvait voir encore en 1923, au milieu du fleuve, les restes d'une noria qui se trouvait en 1907 dans la huerta de rive droite et servait à arroser la terrasse de 7 m. Dans ce secteur, le fleuve a donc mordu sa rive droite sur 75 m de profondeur en l'espace de 16 ans, ce qui représente un recul annuel de 4,7 m. Peut-être est-ce un phénomène semblable, voire plus

violent encore qui a fait disparaître la petite île qui, au Moyen-Age, était ancrée dans le fleuve au niveau du Tortosa. Mention est faite dans les Archives, de la cession de cette île aux Gênois en 1149, en rétribution de l'aide apportée à la conquête de la ville. Revendue par les Gênois à l'évêque de Tortosa, Arnau de Jardi en 1289, elle cesse d'être mentionnée à partir du XVIème siècle. En ce qui concerne la ville même de Tortosa, il a fallu de tout temps la défendre contre les attaques du fleuve impétueux. A l'heure actuelle, un puissant système de digues fixe définitivement le cours en même temps qu'il met la ville à l'abri des crues.

Au-delà de Tortosa, avec la diminution rapide de la pente : 0,03 ‰ de Tortosa à la mer, et 0,0038 ‰ de Amposta à la mer, le fleuve s'assagit rapidement. Perdant de sa puissance, il dépose sa charge, qui est abondante, et construit son delta.

-o-o-o-o-o-o-

C H A P I T R E I I I

L 'A P P O R T P L U V I A L

I N T R O D U C T I O N -

1 / D E S M I L I E U X C L I M A T I Q U E S V A R I E S :

Du "Pic de las tres Mares" à l'amont du bassin, si souvent noyé dans les brumes atlantiques sans lesquelles on pourrait apercevoir l'Océan tout proche, aux vergers d'orangers de la région de Tortosa, des sommets pyrénéens enneigés aux plateaux désolés de la Nouvelle Castille vers lesquels le Jalon poussa sa tête de source, l'Ebre et ses affluents connaissent successivement la fiévreux exotique des contrastes continentaux, et enfin ce mélange de douceur et de violence si propre aux pays méditerranéens. Les différentes parties du bassin appartiennent en effet à des provinces climatiques variées, mais qui, dans la perspective hydrologique qui est la nôtre, se regroupent en première approximation en deux domaines définis pour la première fois par J. Brunhes dans son étude sur l'irrigation en Espagne : "l'Ibérie humide et "l'Ibérie sèche", celle qui est sous influence directe des masses d'air océanique - l'est l'Espagne verte des prairies et des forêts de hêtre, - celle qui est sèche et estivale plus ou moins prolongée

épuise les sources, tarit les rivières, détermine avec l'aide efficace de l'homme un paysage végétal de garrigue, voire de véritable steppe.

2°/ L'EQUIPEMENT METEOROLOGIQUE DU BASSIN :

Les nécessités de l'irrigation dans un pays aussi aride, la hantise de la sécheresse tout autant que la curiosité intellectuelle ont depuis longtemps poussé les Espagnols à s'assurer une meilleure connaissance de leur climat, en particulier du climat pluviométrique. C'est ainsi que Saragosse s'est vue dotée dès 1855 d'un observatoire chargé de poursuivre les observations et en les précisant, les observations réalisées jusqu'alors par des particuliers et dont on peut trouver la trace dans la presse locale. A partir du 1er janvier 1798, la gazette locale "El diario de Zaragoza" prend en effet l'habitude de publier les chiffres de pression et température, relevés quotidiennement à sept, quatorze et vingt-heures.

Vers cette même époque, d'autres observatoires s'installent dans le bassin : à Tortosa, (Observatoire de l'Ebre) et à Pamplona ; puis plus tard et progressivement, s'équipèrent les stations de Huesca (Montflorite), La Molina, Logroño, Daroca, Calamocha, Reinos, Veruela, Vitoria, Lérida. Ces divers postes constituent aujourd'hui un réseau aux mailles un peu lâches sans doute mais d'un très grand intérêt. Chacune de ces stations est en effet dotée outre l'appareillage ordinaire, d'un pluviographe, d'un évaporimètre Piche, d'un lysimètre, d'un thermomètre humide. Au total donc, une douzaine de ces divers appareils est actuellement en fonc-

tionnement dans le bassin.

Le réseau de base est constitué aujourd'hui par près de cinq cents stations pluviométriques réparties sur l'ensemble du territoire, parmi lesquelles cent quatre vingt quatorze sont aussi thermiques. Les pluviomètres employés sont du type Hellman. Ils sont placés à 1,50 m du sol et offrent une ouverture de 200 cm². A côté de ce réseau, et en fonction de leurs orientations de recherche actuelle, les météorologues de Saragosse ont installé récemment un certain nombre de totalisateurs mensuels, au total une trentaine dans le secteur des Monegros et de la "lagune" de Garrotxa. Enfin une vingtaine de totalisateurs annuels sont actuellement en service dans les Pyrénées.

La mise en place de cet équipement a commencé vers les années 1910-1911 et fut d'abord le fait des entreprises hydroélectriques puis de la Confédération hydrographique de l'Ebre. Aujourd'hui, bien que ces organismes conservent leurs observateurs, l'essentiel du réseau est géré par le Centre Météorologique du bassin de l'Ebre à Saragosse, lequel dépend depuis 1936 du Service Météorologique National.

2 / INTERET DE CES SOURCES ET CHOIX DES DONNEES :

L'existence de ce Centre Météorologique du Bassin de l'Ebre a représenté pour nous un avantage inestimable par les facilités de travail qu'il nous a procurées, tant du fait de la compréhension, voire de la sympathie que nous avons trouvée auprès des météorologues espagnols, que par la richesse des documents accumulés. En effet, tout ce qu'il y a de renseignements climatiques

relatifs au bassin, est concentré dans les services de Saragosse. C'est là en effet que sont conservées les fiches mensuelles de précipitations et de températures que les observateurs envoient, à la fin de chaque mois, et dont nous donnons ci-joint un exemple. C'est donc à cet énorme fichier de plusieurs dizaines de milliers de fiches que nous avons puisé l'essentiel de notre documentation climatique. Ajoutons que tout ceci est actuellement en voie d'être traduit sur carte perforée, permettant le traitement par ordinateur. Heureux les chercheurs qui viendront dans quelques années !

Si ce fichier constitue une mine de renseignements, il présente pourtant quelques insuffisances que nous devons signaler car elles nous ont parfois obligée à des extrapolations et il faut alors compter avec une certaine marge d'erreur. Ces insuffisances peuvent être d'ordre spatial, temporel ou technique. En effet, la fonction d'observateur étant pratiquement bénévole, la marche du service repose sur la bonne volonté et celle-ci semble assez variable selon les régions. C'est ainsi que le dévouement à la cause météorologique semble assez peu développé en Navarre où le recrutement d'observateurs nécessite de la part du chef du Centre de Saragosse de véritables tournées de propagande. Il en résulte une inégale répartition des postes, souvent fort gênante pour l'établissement des cartes. En dehors de la Navarre, deux autres régions nous ont posé des problèmes par suite de la trop faible densité de leurs stations. Ce sont les hauts bassins de l'Ebre, et du Jalon. D'autre part, il serait utile d'avoir davantage de postes d'altitude dans les Pyrénées, en particulier des postes dotés de pluviographes donnant de bons renseignements sur les intensités et les

heures des maxima pluviométriques, données indispensables à une bonne étude des crues, et surtout à la prévision de ces crues. De même, le caractère extrêmement sporadique des données relatives au neige, nous a interdit une étude précise de ce facteur dont le rôle dans l'hydrologie pyrénéenne est pourtant de tout premier ordre. Autre inconvénient enfin, lui aussi universellement répandu : l'énorme longueur des séries. En effet, sur les 496 stations fonctionnant en 1971, un certain nombre sont d'installation trop récente pour être utilisables, tandis que d'autres plus anciennes partielles, ont disparu par suite de l'impossibilité de remplacer leurs observateurs. Malgré cela, si l'on élimine les postes les plus récents, il reste encore quelques 300 stations fonctionnant depuis au moins 1954, c'est-à-dire depuis un minimum de 15 ans, et parmi celles-ci, une quarantaine fournissent 40 ans de données, une quinzaine ont un demi-siècle d'existence voire davantage, comme Salagouse (114 ans), Tortosa (84 ans), Pamplona (83 ans).

La masse des données ainsi mise à notre portée nous a permis d'établir différentes cartes représentant en cu plusieurs phénomènes climatiques sur l'ensemble du bassin. Mais il était nécessaire aussi, pour une étude plus approfondie des nuances climatiques qui se juxtaposent depuis la zone cantabrique jusqu'au delà de la zone, quelques stations représentatives et de raisonner à partir de l'exemple qu'elles constituent. Nous en avons finalement élu 10 en fonction de leur degré de représentativité, de la longueur des séries qu'elles offrent, et de leur fiabilité.

Il s'agit pour la vallée de l'Ebre proprement dite de :

REINOSA, pour le secteur cantabrique. La station est située à 855m d'altitude au pied des chaînes qui ferment à l'amont le bassin de l'Ebre, dans la petite plaine où jaillissent à Fontibre les sources de l'Ebre. Reinosa est une des stations de base du réseau météorologique. Elle fournit des séries de 56 années pour la pluie, 42 pour la température, et elle est dotée d'un pluviographe.

AGONCILLO représente la zone de transition entre pays Cantabriques, cuvette aragonaise, Pyrénées navaraises et versant ibérique. La station fonctionne depuis vingt années. Elle est installée sur l'aéroport de Logroño.

SARAGOSSE possède un observatoire très complet dont nous avons déjà parlé, c'est la station aragonaise par excellence.

TORTOSA, au débouché des gorges de l'Ebre à quelques kilomètres de la racine du delta nous fournira ^{un exemple} du climat méditerranéen catalan qui règne sur le bassin inférieur. Les relevés effectués par "l'observatoire de l'Ebre" portent sur 84 années et constituent d'intéressantes séries.

Dans la montagne pyrénéenne nous avons choisi :

- une station du versant atlantique : CANFRANC, sur la haute vallée de l'Aragon au pied du Somport à 1280 m d'altitude. C'est une station pluviométrique et thermique sûre offrant 27 années d'observations.

- une station des Pyrénées centrales bien représentative par sa situation et son altitude du climat pyrénéen de haute montagne ; il s'agit de PANTICOSA à 1555 m d'altitude sur la haute vallée du rio

Caidarès affluent du Gallego, dans un petit bassin terminé par un amphithéâtre de crêtes dépassant 3000 m. La station est thermométrique et pluviométrique dotée d'un thermomètre humide et fonctionne depuis 38 ans pour la pluie, 25 ans pour la température.

- sur le versant méditerranéen, nous avons choisi LA MOLINA à 1700 m d'altitude, sur le versant nord de la Sierra del Cadí, dominant la Cerdagne. La Molina est dotée d'un observatoire. C'est par conséquent une station complète et sûre.

- sur la rive droite de l'Ebre, appartenant dans sa plus grande partie au Système Ibérique, il nous est apparu nécessaire de représenter deux secteurs : le bassin du Jalon et le Bas-Aragon.

- CALAMOCHA située sur le Jiloca à 920 m d'altitude a été préférée à Daroca à cause de sa situation plus intérieure par rapport au Système Ibérique. C'est une station complète dotée en particulier d'un pluviographe et d'un évaporimètre, mais ses séries sont moins longues : 24 ans au lieu de 56.

- enfin le bas-Aragon est représenté par SANTOLEA, station uniquement pluviométrique du bassin du Gualadape, à 530 m d'altitude mais qui fournit de bonnes données sur une période de 30 ans.

4° / CONDITIONS AÉROLOGIQUES ET RÉGIMES DYNAMIQUES SUR LE NORD DE L'ESPAGNE :

Notre but n'est pas de faire une étude exhaustive des régimes de circulation, mais de présenter rapidement les condi-

tions dans lesquelles se déclanchent les phénomènes météorologiques ayant une action déterminante sur l'hydrologie de l'Ebre. Ces recherches ont d'ailleurs été engagées dans une optique bien précise: la détermination des mécanismes capables de déclancher des crues.

Le climat d'une région est régi par sa position cosmique et par les conditions locales qui nuancent les facteurs planétaires.

a) Les facteurs de la circulation atmosphérique et du climat

- La position cosmique est caractérisée ici par une latitude relativement basse ($40-43^{\circ}$) qui place le bassin de l'Ebre sur la bordure méridionale de la zone des Westerlies, un peu au N du centre de gravité de l'anticyclone subtropical des Açores. On sait que sur les façades W des continents, à cette position correspond un climat original, le climat méditerranéen. Or, le climat typique des régions du N de la Méditerranée, à longue saison sèche estivale et pluies d'équinoxe, est nuancée ici d'une part par la position en longitude, d'autre part, par les conditions géographiques locales. On a déjà souligné la position très occidentale de la Péninsule Ibérique. Dans ces conditions, la protection aérologique qui s'exerce en hiver sur le Languedoc, par exemple, lors des circulations d'Ouest n'existe plus ici, au moins sur la façade occidentale de la péninsule, et le haut bassin de l'Ebre en particulier qui restent exposés aux perturbations atlantiques.

C'est encore la position cosmique de l'Ibérie qui est à l'origine de la grande fréquence dans ce secteur des flux méri-

diens. En effet, la pointe SW du continent européen est souvent intéressée par l'extrémité d'une vallée planétaire ponctuée dans un grand nombre de cas, par une goutte froide d'altitude. Deux flux perturbés inverses s'installent alors : l'un de NW affectant la Côte Cantabrique, et le haut bassin, l'autre de SW affectant le Catalogne et le bassin inférieur. Il pleut alors en même temps sur les deux extrémités du bassin.

- En résumé : quatre facteurs géographiques perturbent plus ou moins les données cosmiques, ce sont :

1 - L'isthme pyrénéen : 400 km seulement séparent l'Atlantique de la Méditerranée au niveau des Pyrénées. Or aussi bien le golfe Cantabrique du Côté de l'Atlantique que le secteur Lion-Balears du Côté de la Méditerranée sont des zones très fréquentées par les dépressions qui ont tendance à y stationner longtemps en particulier au printemps et en automne. Cette situation favorise le passage des perturbations, que l'on voit fréquemment glisser d'une mer à l'autre soit par la voie NW4 définie par P.Fedeleborde, soit au contraire, selon un itinéraire SE-NW (1). La carte des vents (fig. 22 et 23) traduit bien cette alternance des flux au long de la vallée de l'Ebre.

3 - Plus au S, une autre voie de passage s'offre pour

En résumé, les perturbations de SE, très vite reprises par le courant zonal se reconvertent en flux de SW avant d'atteindre

les perturbations nées à des latitudes plus méridionales : le détroit de Gibraltar. Grâce à lui, les cyclones nés dans le golfe de Cadix ou plus bas encore, dans le secteur des Açores passent en Méditerranée où ils sont souvent happés au passage par la dépression des Baléares et retournés en flux de SE.

3 - Tandis qu'aux extrémités N et S de la péninsule s'ouvrent des voies de passage, la partie centrale au contraire, massive, occupée de plus par l'ensemble compact des plateaux de la Meseta, se comporte un peu à la manière d'un continent. L'hiver, les températures y sont très basses, beaucoup plus que ne le voudrait la latitude, même nuancée par l'altitude, et un anticyclone thermique s'installe au coeur du pays. Cet anticyclone déborde fréquemment sur le centre du bassin de l'Ebre qu'il protège alors des perturbations d'Ouest, ceci à l'époque justement où les circulations zonales atteignent leur maximum de virulence et d'extension vers le Sud. Deux domaines se distinguent alors nettement dans le bassin de l'Ebre : l'amont exposé aux flux océaniques et qui enregistre alors son maximum pluviométrique, la cuvette centrale et le versant méditerranéen, qui sous le couvert de l'anticyclone, connaissent au contraire une importante sécheresse hivernale. En été, la chaleur qui règne au centre de la péninsule y détermine la formation d'une dépression qui se maintient pratiquement tout au long de la saison chaude. Cette dépression attire les flux de NE qui atteignent alors leur maximum de fréquence et qui peuvent être générateurs d'orages plus ou moins violents.

4 - La continentalité, née de la forme même de la péninsule, se trouve renforcée par la topographie de cuvette qui ca-

caractérise le bassin de l'Ebre. Cette topographie agit à la fois sur les modules pluviométriques et sur les températures. Ainsi, les vents humides venus de l'Atlantique ou de la Méditerranée et obligés de franchir des reliefs bordiers élevés se vident d'une partie de leur contenu hydrique. Lorsqu'ils parviennent dans le bassin moyen ils sont incapables d'assurer aux sols et à la végétation une irrigation convenable. D'autre part, l'abri constitué par cette ceinture de hautes terres favorise la stagnation hivernale des masses d'air froid dans la partie la plus déprimée. Ainsi se développe une continentalité thermique génératrice de fréquentes inversions de température dont on verra plus loin l'effet sur la végétation. En été, le calme qui règne dans ce secteur, où sévit une chaleur intense, favorise les ascendances et par conséquent les phénomènes orageux.

En fonction de ces conditions, le bassin de l'Ebre connaît selon les saisons, divers types de temps liés au régime dynamique du moment.

b - Les types de circulation et le temps dans la vallée de l'Ebre -

- Le plus caractéristique est ici la fréquence relativement faible des circulations d'Ouest. Nous avons noté en 3 ans 170 cas seulement soit 15 % du temps, contre 1/2 à 3/4 dans la France océanique. C'est là évidemment la conséquence de la latitude, responsable aussi de la faible virulence des courants d'W4. En effet dans le cas de perturbations voyageant sur cette voie, seule l'extrémité des fronts atteint parfois le bassin de l'Ebre. De plus,

TABEAU VII : REPARTITION AU COURS DE L'ANNEE DES REGIMES DE CIRCULATION -

TYPES DE SUD						TYPES DE NORD						TYPES		D'OUEST			
	n	P	E	A	H		n	P	E	A	H		n	P	E	A	H
SWA	201	58	46	57	40	NE	69	23	31	5	10	W ₂	14	3	5	4	2
SW _M	94	41	21	16	16	N	25	5	3	5	12	W ₄	76	29	24	15	8
SE	53	13	13	18	9	NW ₃	52	7	1	16	28	W ₄₀	81	9	15	19	38
						NW ₅	79	18	15	30	16						
Total	348	112	80	91	65	Total	225	53	50	56	66	Total	171	41	44	38	48

n : total pour chaque flux perturbé.

Cette étude porte sur 3 années : 1968 - 1969 - 1970.

ce n'est que dans le haut bassin, et sur le versant pyrénéen, que leur passage est accompagné de pluies de quelque intensité. Ailleurs, les pluies fines prédominent, tandis que le versant ibérique, annexé à ce moment de l'année au domaine du climat castillan, reste à l'écart de ces influences. Beaucoup plus importants sont, pour la région qui nous occupe, les flux cheminant sur des voies très méridionales, que nous appellerons W40 pour évoquer approximativement leur trajectoire. Celle-ci se situe en effet entre le 40° et le 45° parallèle. Le dépouillement de 3 années de BQE, et l'étude des cartes des 25 dernières années nous a montré que cette voie fonctionnait dans tous ces précés.

- Lorsque le couple anticyclone - dépression qui dirige sur l'Europe les perturbations atlantiques stationne lui-même à des latitudes très basses. Dans ce cas, il s'agit généralement d'un épisode de courte durée intercalé entre des périodes de circulation méridienne NW puis SW.

- Lorsqu'un anticyclone continental protège l'Europe tandis qu'une dépression stationne dans le secteur Lion-Baléares. Au lieu de contourner l'anticyclone par l'extrême N, les perturbations aspirées par la dépression traversent la Péninsule Ibérique d'W en E et passent en Méditerranée.

- Dans les cas de circulation zonale de grande intensité, il arrive que 2 étages de perturbations se superposent : l'un au niveau de W4, l'autre plus bas, dans la bande des 40-45° parallèles.

- Enfin, les courants de SW fonctionnant des Açores à la Grande Bretagne sont parfois déviés sur l'Espagne en courants

d'W, en particulier lorsqu'un marais barométrique ou une dépression s'est installé en Méditerranée occidentale. Les noyaux d'isallobares circulent alors au travers de l'Espagne, dans un sens strictement zonal.

Dans ces différents cas, le centre de la perturbation, après avoir été freiné un moment par les reliefs cantabriques, glisse au long de la vallée de l'Ebre en direction de la Catalogne. Les précipitations qui l'accompagnent sont souvent copieuses, surtout en automne et plus particulièrement lorsque l'effet orographique exalte les ascendances, et elles sont généralisées, fait assez rare pour être souligné.

Dans les Pyrénées, on constate que ces flux partagent avec ceux de SW fonctionnant à la même saison, tous les records pluviométriques : maximum de 24h, maximum d'intensité pluviométrique en fonction du flux perturbé... En conséquence, ils portent la responsabilité d'un certain nombre de débordements de l'Aragon et du Gallego. Par contre, la pointe amont du bassin, bien que très près de l'Atlantique est beaucoup moins sensible à ce type de circulation. L'abri que constitue pour elle la jonction de deux systèmes montagneux est sans doute la cause de ce comportement.

Ces perturbations d'W, fréquentes surtout en hiver, plus particulièrement actives en automne, se retrouvent en été, moins nombreuses certes, mais parfois très efficaces en particulier dans les hautes vallées pyrénéennes où les fronts froids soulèvent l'air stagnant et surchauffé, provoquant ainsi de nombreux orages.

Au total, les différents régimes d'Ouest apportent sur les Pyrénées aragonaises le tiers de la lame d'eau annuelle. A Reinos, cet apport ne représente que 13 % du total et à Tortosa, 12 %. C'est donc dans les Pyrénées centrales et aussi occidentales, et en automne-hiver, que les circulations d'Ouest jouent le rôle le plus spectaculaire. Les masses d'air concernées, surtout dans le cas d'W 40 étant d'origine méridionale, donc tièdes et fortement chargées en humidité, on prévoit dès à présent qu'elles pourront à la fois apporter des quantités de pluies importantes et provoquer la fonte des neiges qui ont pu se déposer lors d'épisodes précédents de secteur N par exemple.

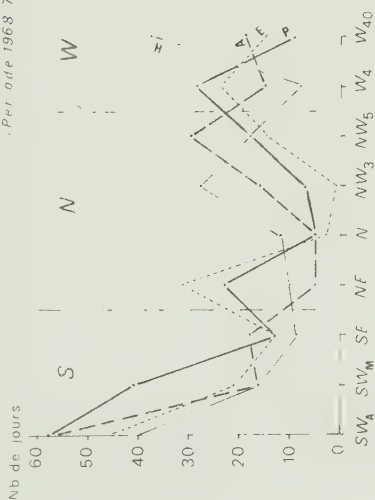
Tout comme les circulations d'Ouest, celles de Nord admettent plusieurs variantes d'importance inégale, qui se traduisent par des temps différents selon le secteur du bassin envisagé.

En première approximation, nous devons faire la distinction entre les flux de N et NW et ceux de NE.

Les régimes de N et NW sont les plus nombreux, et c'est dans la zone vasco-cantabrique qu'ils sont les plus virulents. S'ils n'y apportent pas la plus forte lame d'eau - il s'en manque d'ailleurs de bien peu -, ils sont responsables des plus fortes intensités.

D'une façon générale, par temps de NW, les fronts chauds freinés par les reliefs passent presque inaperçus. Les fronts froids qui leur succèdent à 1 ou 2 jours d'intervalle abordent au contraire la Cordillère Cantabrique avec une grande virulence et gardent leur activité après après avoir franchi les premiers reliefs. Une étude faite par J.L. Comellas (1963) et portant

Fig4: FREQUENCE SAISONNIERE DES FLUX PERTURBES
 , Periode 1968 70.



		P E A H				P (mm)
N	3.6					
NE		5.3			2.8 6.4	2.74
NW ₅	2.3					
NW ₃						
W ₄						109
W ₄₀		2				
SW _A						760
SW _M	3.3	4.5			3 6.7 2	
SE	3 2 4.5				3.5 4 9	

CALAMOCCHA

SANTOLCA

		P E A H				P (mm)
N	2					
NE		11.3 6.8				416
NW ₅	5.7	3.3				
NW ₃						
W ₄						290
W ₄₀		5.6 3.4				
SW _A						168.7
SW _M	5.8 3 16 5.5					
SE	7.7 4.4 2.7 2					

TOHIOISA

		P E A H				P (mm)
N						
NE	2					151
NW ₅						
NW ₃						
W ₄	3.4	2				145
W ₄₀						
SW _A						63.9
SW _M	4 4.5 2.3					
SE	3.2 8.2					

ZARAGOZA

		P E A H				P (mm)
N	3.5					881
NE	2.4 5.3					
NW ₅	2.8 9 5.3					
NW ₃	5.4 6					
W ₄	4.3					274
W ₄₀	2.4					
SW _A	3.6 2.5 3					9.71
SW _M	3.2 5 4.5 3					
SE	4 3					

REINOSA

		P E A H				P (mm)
N	5 2					
NE	4					852
NW ₅	3 13.3 4.3					
NW ₃	3.5 2.8					
W ₄	8 3.5 8.2					1541
W ₄₀	7 6.8 16 14					
SW _A	5.6 4 2.8					2298
SW _M	11.5 6.6 17.4					
SE	4 5 9					

CANFRANC

sur l'année 1955 à Pampelune, a montré que les fronts froids avaient apporté 252 mm d'eau contre 76 mm seulement à l'actif des fronts chauds.

Parmi ces trajectoires de N-NW, la plus dangereuse pour les rivières est celle de NW5, c'est à dire celle de l'isthme pyrénéen. Elle est généralement déterminée par un couloir dépressionnaire creusé des Iles Britanniques à la Méditerranée entre l'anticyclone continental et l'anticyclone des Açores mordant sur le Sud de la péninsule. Nous associerons à ces flux, les courants d'W circulant sur la voie 4, dont le front froid est dévié en flux de NW sur l'Espagne par la topographie isobarique locale. Lors des régimes de ce type la Péninsule Ibérique se trouve située sur le flanc SE des centres d'action. Il est fréquent alors de voir les queues des fronts froids, échapper à l'attraction de la dépression d'Islande et, dirigées par le seul anticyclone, se rabattre pour aborder de front la côte cantabrique. Les cartes d'isobares montrent alors deux couples de noyaux l'un sur l'Europe centrale, cheminant W-E, l'autre se dirigeant vers la Méditerranée selon une trajectoire NW-SE.

A l'intérieur des circulations de N, celles qui ont une composante est tiennent une place un peu à part. D'abord par l'originalité de leur fréquence saisonnière : elles se déclanchent surtout en été, ensuite par leur conséquence sur le temps : presque toujours, celles-ci sont accompagnées de manifestations orageuses. Deux situations peuvent déclancher ces courants :

En été on assiste assez souvent à une extension de l'anticyclone des Açores , de la Scandinavie au large du Maroc, tandis qu'une dépression thermique s'installe sur l'Europe centrale

et qu'une autre se creuse sur la Meseta. Un courant perturbé circule alors parfois entre les deux dépressions et sur le flanc E de l'anticyclone. Il affecte surtout les Pyrénées.

En automne et hiver, quelque fois au printemps, l'anticyclone européen s'étire vers l'Ouest, tandis qu'une dépression, doublée d'une goutte froide d'altitude se creuse au large de Gibraltar. L'air frais européen faisant irruption dans l'air méditerranéen plus chaud y provoque parfois sur l'E et le SE de l'Espagne le développement de situations orageuses, ce qui explique les intensités pluviométriques élevées à Tortosa, par temps de NE, en automne surtout.

Si l'on excepte les courants de NW qui aboutissent en Méditerranée et n'intéressent plus alors la péninsule, la plupart des autres courants de secteur N ont essentiellement pour conséquence la création en leur point d'aboutissement sur l'Espagne ou le proche Atlantique, de dépressions dynamiques souvent coiffées d'une goutte froide d'altitude. Aussitôt creusées, ces dépressions aspirent l'air chaud méditerranéen ou tropical et de l'affrontement des masses d'air naissent de nouvelles perturbations qui se mettent alors en marche vers le N ou le NE. Ainsi on assiste en quelques jours à un renversement total du régime de circulation qui passe du N au SW, S, quelquefois même SE. L'étude des crues nous a montré des exemples saisissants de ce phénomène, que nous exposerons en leur temps.

De tous les types de flux perturbés qui intéressent la péninsule, les plus importants, tant par leur fréquence que par leurs conséquences sur la pluviométrie et sur les excès hydrologi-

ques, sont les flux de S. Partout même à Reïnoza, ce sont eux qui apportent les plus fortes lames d'eau annuelles. Partout, sauf dans le secteur vasco-cantabrique, ils sont responsables des plus fortes intensités pluviométriques. D'une façon générale, c'est à l'automne et au printemps que ces circulations sont les plus fréquentes et les plus virulentes. Comme on l'a vu précédemment, elles succèdent presque toujours à un épisode de N qui a donné naissance à une dépression dynamique. Celle-ci est devenue aussitôt un centre actif de cyclogénèse, et le moteur essentiel de la circulation dans les parages qui nous occupent. Mais de sa position exacte, qui peut varier assez largement, dépend la trajectoire du nouveau flux et par conséquent le type de circulation qui va intéresser le N de la péninsule. Des flux de SW peuvent être constitués encore par des perturbations ayant cheminé d'W en E sur l'Atlantique à des latitudes assez basses, et qui sont ensuite aspirées vers le NE par une vaste dépression stationnée aux abords de l'Irlande. Enfin dans certains cas (dépression directrice très lointaine et perturbations très ouvertes), seuls les fronts froids balaient le quart NW de la péninsule.

En fonction de ces origines variées, la trajectoire est différente, de même que le secteur du bassin le plus affecté. C'est pourquoi nous avons dû distinguer des flux de SW atlantique et des flux de SW méditerranéen. Mais il n'y a pas de différence fondamentale et le passage entre les 2 est graduel. Les pluies les plus intenses se produisent d'ailleurs lorsque le point double traverse en diagonale la péninsule du golfe de Cadix au golfe du Lion. Alors se déclanchent des vents de SE, d'origine méditerranéen-

ne, tièdes et à forte capacité hygrométrique, surtout en automne. Les régions plus sensibles sont alors les régions cotières mais aussi les Pyrénées qui reçoivent dans ces cas leurs plus fortes intensités journalières. De plus, du fait de la topographie, ces vents peuvent aisément remonter la vallée de l'Ebre et arroser encore le centre de la cuvette, Logroño et la Rioja, et plus loin encore la région de Reinosa.

Nous ferons un sort aux flux de SE, peu nombreux, mais responsables comme en bas-Languedoc, des plus grandes calamités pluviométriques. Lorsque les perturbations de Gibraltar remontent en Méditerranée vers les côtes françaises ou italiennes, il arrive qu'elles entrent dans l'aire d'attraction de la dépression des Baléares. Elles sont alors retournées en flux de SE et vont heurter la côte après avoir accompli un long trajet maritime au-dessus d'une mer tiède. Aussi leur capacité pluviométrique est-elle très élevée. C'est dans ces conditions qu'ont été enregistrées à Tortosa et sur les Pyrénées orientales, les plus fortes précipitations. Il est vrai qu'il existe parfois une circonstance aggravante, la présence d'une goutte froide d'altitude. Une étude de ces phénomènes nous a montré en effet que le delta de l'Ebre était l'un des points de chute des gouttes froides dans ce secteur de l'Europe. C'est là certainement ce qui lui vaut de posséder les records d'intensité journalière et sans doute aussi horaire, de tout le bassin.

Les situations anticycloniques sont, pour notre propos moins importantes, sauf lorsqu'elles se prolongent au-delà de leur durée normale, déterminant ainsi l'installation d'une période de sécheresse dont les conséquences hydrologiques sont parfois catas-

trophiques dans ce pays déjà voué à l'aridité. Ces sécheresses peuvent être encore aggravées en été par le déclenchement d'une vague de chaleur. Ce phénomène se produit lorsque l'anticyclone des Açores s'étire vers l'Europe centrale, rejetant les perturbations atlantiques très loin vers le N, tandis qu'une dépression thermique s'installe sur l'Espagne du S et le Maroc. Celle-ci dirige alors sur la péninsule des masses d'air d'origine saharienne, sèches et brûlantes. Etant donné la faiblesse du trajet maritime, ces masses d'air n'ont pas eu le temps de se charger d'humidité, comme c'est le cas pour celles qui abordent la France. Dans toute la vallée de l'Ebre, le temps est fortement ensoleillé, mais la visibilité réduite par une brume sèche constituée de fines particules solides en suspension, et surtout, la température est très élevée. A Saragosse, on enregistre alors pendant plusieurs jours consécutifs, des températures maximales de 38 à 40° tandis que les minima ne descendent pas en-dessous de 20°. Les conséquences sur la végétation et l'hydrologie sont de tout premier ordre. De semblables chaleurs éliminent du bassin de l'Ebre nombre de plantes d'origine boréale et favorisent au contraire les espèces africaines ; d'autre part, elles exaspèrent l'évaporation dans les barrages réservoirs, les canaux d'arrosage, le lit des rivières, et éventuellement au niveau du sol.

Accompagnées ou non de vagues de chaleur (ou en hiver de vagues de froid), les situations anticycloniques représentent environ le quart de l'année.

SECTION I - L'APPORT PLUVIAL GLOBAL -

Si l'on compare le module pluviométrique moyen annuel dans le bassin de l'Ebre, à celui des autres bassins ibériques, on constate que, avec 623 mm et 53.500 millions de m³ (moyenne de 1947-1967) l'Ebre se classe parmi les fleuves les mieux pourvus de la péninsule, tant pour la lame d'eau que pour le volume total de pluie tombée sur le bassin. A titre de comparaison voici en effet pour les bassins des principaux fleuves espagnols, les chiffres correspondants :

TABLEAU IX : L'APPORT PLUVIAL SUR LES PRINCIPAUX BASSINS VERSANTS ESPAGNOLS.

Bassin versant	Apport en Hm ³	P (mm)	S (km ²)
<u>Versant atlantique</u>			
Douro (frontière)	50.780	643	78.970
Tage (frontière)	37.154	664	55.980
Guadiana	34.031	568	59.870
Guadalquivir	40.000	607	63.080
<u>Versant méditerranéen</u>			
Ebre	53.500	623	84.230
Jucar	22.054	514	42.900
Ségura	5.850	314	18.630
Espagne	380.812	689	484.320

Si nous passons le détroit de Gibraltar, nous trouvons pour l'Oum-er-Rbia à Imfoute 546 mm et 16.400 hm³ d'apport pluvial, (J.Loup, 1960), pour le Sebou, 635 mm et 17.000 hm³. De tous les bassins de ce secteur extrême occidental du monde méditerranéen, celui de l'Ebre est donc le mieux alimenté surtout si l'on considère le volume total des eaux reçues annuellement. Par contre, c'est en parent pauvre qu'il se présente, dès qu'on établit la comparaison qui s'impose avec son voisin et symétrique par rapport aux Pyrénées : le bassin de la Garonne. Ici en effet, la lame d'eau annuelle s'élève à près de 900 mm. Cette différence est doublement significative : sur le plan régional, elle montre le rôle de l'exposition. Sur un plan plus général, elle constitue un exemple de ces transitions climatiques brutales qui s'opèrent parfois au niveau de certains parallèles privilégiés.

Quoi qu'il en soit, le chiffre de 623 mm pour la lame d'eau moyenne sur le bassin de l'Ebre cache de forts contrastes à la fois spatiaux et temporels.

A - LES CONTRASTES SPATIAUX : *Ibérie humide, Ibérie sèche.*

Nous utiliserons pour cette étude la carte du Professeur Lautensach établie pour la période 1906-1925, et qui reste aujourd'hui une des plus complètes et des plus précises que l'on puisse posséder sur la région. Nous la reproduisons ici avec une légère correction au niveau de la zone la plus sèche qu'il convient de réduire quelque peu, et en la complétant du côté de l'Andorre et de la Cerdagne française.

Cette carte fait apparaître l'opposition entre deux domaines :

- un domaine bien arrosé ou très arrosé recevant plus de 800mm de pluie par an, et correspondant à peu près à ce que J. Brunhes définissait comme l'Ibérie humide (1).

- un domaine sec où la pluviosité est inférieure à 800 mm et tombe en certains secteurs à des chiffres très bas, voisins de 300 mm. Ce secteur est à rattacher à l'Ibérie sèche dont il constitue l'avancée la plus septentrionale.

3°/ La ceinture humide de l'Ebre et ses trois châteaux

d'eau :

a) Les Pyrénées et les massifs basques :

Bien que moins arrosées que les Pyrénées françaises les Pyrénées espagnoles reçoivent encore de fortes tranches d'eau en particulier sur le versant atlantique et les plus hauts reliefs, tandis que certaines vallées bien abritées accusent une réelle sécheresse. D'une façon générale d'ailleurs, la carte des pluies et l'étude des gradients pluviométriques dans les principales val-

(1) En réalité J. Brunhes assignait comme limite à cette Ibérie humide, l'isohyète 800 mm. En fonction de nos perspectives hydrologiques, et après avoir pris en compte d'autres facteurs comme la température, et surtout le bilan hydrique des sols, nous avons pensé qu'il était préférable d'opter pour l'isohyète 800mm. Bien d'autres critères ont été d'ailleurs proposés dont il sera question dans le chapitre sur la sécheresse.

lées, permettent de mettre en relief une double gradation : de l'Ouest à l'Est de la chaîne, en fonction de la distance à l'Océan et de l'étagement des massifs, et du Nord au Sud, en fonction de l'altitude. La Figure 5 est particulièrement significative à cet égard. Elle représente les gradients pluviométriques moyens pour tous les bassins versants des affluents pyrénéens. Pour chacun de ces bassins, nous disposions de quinze à vingt stations distribuées au fond de la vallée ou sur les différents versants. Les coordonnées de ces stations : pluie et altitude, nous ont donné un nuage de points assez bien alignés dans l'ensemble mais avec quelques écarts en fonction de l'exposition et, d'une façon générale, de conditions locales très particulières. Nous avons ensuite tracé au milieu de ces points la droite représentant le meilleur ajustement possible. L'ensemble des courbes représentatives, réunies sur un même axe de coordonnées, se déploie en un étonnant mouvement d'éventail ; les vallées orientales se situent à droite du plan, et la courbe moyenne qui les représente est peu inclinée. Cette courbe se redresse vers l'Ouest de la chaîne, traduisant un gradient de plus en plus fort que précise le tableau suivant :

Valeur moyenne des gradients pluviométriques dans les vallées Pyrénéennes :

Sègre	: 52mm	par	100m	sur	1600m	de	dénivellation	
Pallaresa	: 41mm	"	100m	"	1645m			"
Ribagorzana	: 86mm	"	100m	"	1400m			"
Cinca	: 148mm	"	100m	"	957m			"
Gallego	: 94mm	"	100m	"	1340m			"
Aragon	: 115mm	"	100m	"	1333m			" du con- fluent à Candan- chu.

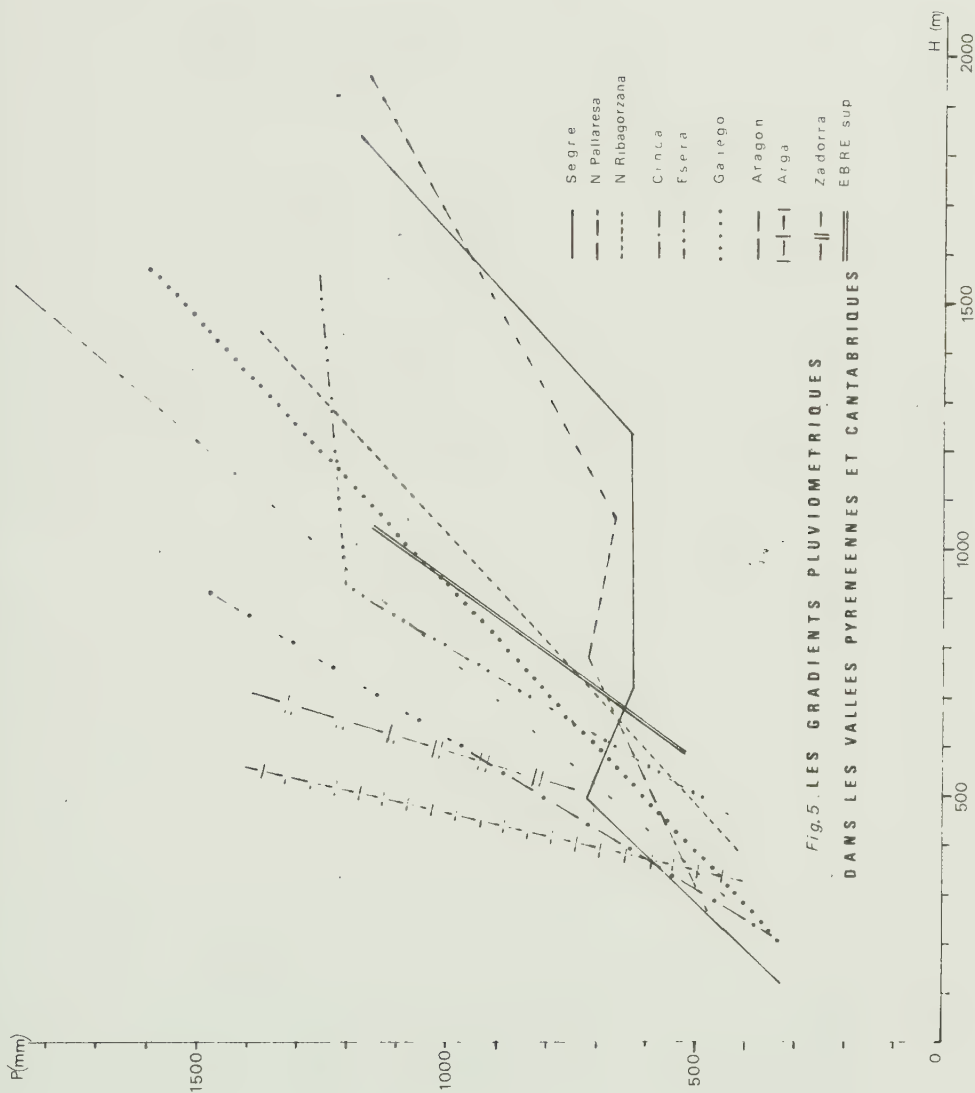


Fig.5. LES GRADIENTS PLUVIOMETRIQUES
DANS LES VALLEES PYRENEENNES ET CANTABRIQUES

Aragon-Irati	:	265 mm	par	100 m	sur	1600 m	de dénivellation	
								du confluent à
								Burguete
Arga	:	310 mm	"	100 m	"	280 m	de dénivellation	

Il résulte de cette disparité des gradients que si l'on trace sur le plan défini ci-dessus, la droite représentant l'altitude 1000 m, cette droite coupe la vallée du Sègre au niveau de 780 mm, celle du Cinca vers 1600 mm; le Gallego situé au niveau où s'épuisent à la fois les flux méditerranéens et les flux atlantiques, ne reçoit que 1100 mm mais dès l'Aragon la courbe se redresse et à 1000 m, on enregistre 1200 mm de pluie tandis que sur l'Arga ce chiffre est atteint dès 500 m d'altitude.

Graphiques et chiffres mettent ainsi en valeur, non seulement l'effet orographique, mais le rôle de la distance à l'Océan, de l'orientation des vallées par rapport aux vents pluvieux, de l'effet d'abri.

Ainsi, les sierras du Pays Basque et de la Navarre étirées parallèlement à la côte, les longs interfluves orientés Nord-Sud des Pyrénées atlantiques reçoivent de plein fouet les fronts froids de Nord à Nord-Ouest dont on sait qu'ils sont ici particulièrement actifs. Remontant les hautes vallées de l'Oria et de la Bidassoa, les masses d'air chargées de vapeurs océaniques qui accompagnent ces fronts débouchent sur le versant de l'Ebre au niveau des cols incisés à 800 m et même 700 m, déferlent par-dessus une ligne de partage des eaux qui nulle part avant Roncevaux n'atteint 1500 m. Or, on est ici, sur le haut Arga, l'Araquil, ou le haut Irati, à 40-50 km seulement de l'Océan. On comprend que,

malgré son altitude modeste (520 m) une station comme Alsasua, au débouché de l'un de ces seuils reçoive annuellement 1383 mm de pluie, et Burguete, à 885 m, au pied du col de Roncevaux 1974 mm! Mais ce sont les faces nord des reliefs qui enregistrent les plus fortes tranches d'eau. Les vents humides de composante Nord qui buttent sur ces écrans y déterminent une abondante nébulosité génératrice de pluies importantes.

Au-delà du Somport, les masses d'air océaniques arrivent en partie vidées de leur contenu hydrique, mais l'élévation progressive du relief jusqu'à la Maladetta, exaspère l'effet orographique et abaisse encore le taux de saturation de l'air. De plus, les flux méditerranéens prennent le relai des flux atlantiques, de sorte que tous les massifs dépassant 2000 m, reçoivent encore une lame d'eau supérieure à 2 mètres par an. Ainsi se détachent sur la carte des pluies les massifs de Panticossa et du Balaitous sur le haut Gallego, celui du Mont Perdu et des Posets aux sources du Cinca et du Cinqueta, enfin la Maladetta. A 795 m d'altitude seulement, mais au pied des Sierras intérieures dans la haute vallée du Cinca, Salinas de Bielsa enregistre 1305 mm de pluie.

Au niveau de ces hauts massifs, l'élargissement de la chaîne, qui projette vers le Sud, à la rencontre des vents méditerranéens de Sud-Est des reliefs assez élevés comme la Sierra de Guara (2077 m), entraîne un épanouissement de la zone de pluviosité supérieure à 1000 mm. Par contre, les vallées ouvertes vers le Sud, abritées par conséquent aussi bien des effluves méditerranéens de Sud-Est que des courants atlantiques de Nord-Ouest, constituent de véritables prolongations à l'intérieur de la masse montagneuse,

de la zone de sècheresse médio-aragonaise. En particulier, la partie orientale de la section de la vallée de l'Aragon, connue sous le nom de "Canal de Berdun", sous le vent des flux de Sud-Est grâce à la Peña de Oroel (1769 m) est une région de climat ensoleillé, où l'on cueille la lavande sur les terrasses dominant l'Aragon. On constate un phénomène semblable sur la portion est-ouest de la vallée du Gallego, entre la Peña de Oroel et la Sierra de Guara, et dans la vallée supérieure de l'Esera, profondément enfoncée entre les massifs de la Maladetta et des Posets.

Au-delà du puissant bastion de la Maladetta, les altitudes s'abaissent et les influences méditerranéennes l'emportent. Seul, le massif du Parc d'Aigues Tortes, grâce à ses 2900 m d'altitude, le Pic d'Estats, au Nord-Est de la Pallaresa exposé à la fois aux flux perturbés de secteur sud et aux influences venues du Nord-Ouest par-dessus le val d'Aran, et le col de Bonaigua, reçoit encore annuellement 2 m d'eau. Ailleurs prédomine un relief de bassins fermés à l'aval (Andorre) ou de fossé tectonique (Cerdagne) où se développe un climat d'abri. Ce phénomène d'abri se traduit sur la carte des pluies par une remontée des isohyètes qui s'étirent en doigt de gant vers les hautes vallées, et sur les graphiques par un palier, voire un gradient négatif. C'est dans la vallée du Sègre que cette évolution est la plus remarquable. La pluviosité, qui augmente progressivement vers l'amont jusqu'aux environs du bassin d'Oliana se stabilise alors au voisinage de 700 mm jusqu'au-delà de la Seo de Urgel, descend même au-dessous de ce chiffre sur les tronçons très abrités du bassin de Bellevert en Cerdagne espagnole, et ne se relève à nouveau, assez timidement d'ailleurs, que dans la haute Cerdagne. Aussi Puigcerdà, malgré ses

1202 m d'altitude ne reçoit que 823 mm d'eau, c'est à dire même pas le chiffre de Pampelune, pourtant située à 452 m seulement. Semblable phénomène se retrouve sur la Pallaresa dans la région d'Escalo et Esterri de Aneu, en arrière des massifs d'Aigues Tortes.

Dans l'ensemble, et malgré la relative indigence du bassin du Sègre, les Pyrénées constituent pour le fleuve la zone essentielle d'alimentation, non seulement par le volume total des eaux qu'elles condensent, mais par la façon dont elles répartissent ces eaux tout au long de l'artère principale, soutenant ainsi des débits qui sans cela s'épuiseraient à la traversée de la cuvette aragonaise. En effet, l'apport cantabrique d'amont, malgré son volume, ne permettrait guère de faire face à l'importance des pertes par évaporation et infiltration tout au long du cours moyen.

b) Le secteur cantabrique : constitue en effet un deuxième château d'eau, moins important que le précédent à la fois par son étendue et par les modules enregistrés. Ces derniers se situent en effet le plus souvent entre 600 et 1000 mm. Reinosa à 850 m d'altitude reçoit 975 mm d'eau par an ; seules les sources du Rio Hizar sur les flancs de Peña Labra qui culmine à 2175 m recueillent plus de 1200 mm. Encore cette tranche représente-t-elle un gradient inférieur à celui du Cinca et de toute la bordure montagneuse depuis cette rivière jusqu'à l'Aragon et l'Arga. En effet à partir de l'Arga, qui avec un gradient de 310 mm par 100 m bat tous les records, les courbes s'inclinent à nouveau progressivement vers la droite. Sur le haut Ebre, le gradient n'est plus que de 137, chiffre encore important mais inférieur à ce qu'on serait en droit d'attendre vu

la proximité de l'Océan et la position de la chaîne Cantabrique qui se dresse en un magnifique écran de condensation face aux vents pluvieux de Nord-Ouest et de Nord. Mais nous sommes ici sur le revers de cette chaîne, en position sous le vent, ce qui entraîne une remarquable dissymétrie de l'abondance pluviale entre les versants nord et sud. Les isohyètes qui se pressent, nombreux sur le flanc nord, s'espacent au contraire sous le vent des reliefs jusqu'aux Monts Obarenes et à la Sierra de Cantabria qui, au niveau de las Conchas de Haro, ferment vers l'avant le bassin supérieur, et par leur orientation Est-Ouest obligent les vents déjà engagés dans la gouttière, à s'élever une dernière fois et perdre leurs dernières traces d'humidité.

Dans l'ensemble on a là, jusqu'à Miranda de Ebro, sur 5480 km² de bassin versant un secteur assez bien ou bien arrosé, recevant une lame d'eau moyenne de 800 mm. Malgré cela, nulle part l'alimentation pluviale n'est comparable à celle des hauts massifs pyrénéens.

c) Le NW du Système Ibérique :

-Au-delà d'un étranglement des isohyètes correspondant à l'ensellement du Système Ibérique dans la région de la Bureba, entre Rioja alta et bassin de Burgos, apparaît un troisième pôle de condensation, constitué par les différentes sierras qui, de la Demanda (2260 m) s'étirent jusqu'au Moncayo (2313 m) par les Picos de Urbión. Les altitudes élevées de ce secteur dont la crête dépasse assez souvent 2000 m et s'élève par conséquent au-dessus du niveau de la barrière cantabrique, la relative proximité de l'Océan et surtout l'exposition aux courants de secteur nord, affaiblis certes par le franchissement du premier bourrelet montagneux, mais

non encore totalement vidés de leur contenu hydrique, l'avancée du Moncayo vers le Sud-Est, face aux masses d'air méditerranéennes qui remontent la vallée de l'Ebre, tout ceci entraîne une élévation de la pluviosité sans que, toutefois, les totaux annuels soient comparables à ceux du versant cantabrique, à plus forte raison des Pyrénées. A 870 m le Monasterio de Rodilla aux limites du bassin reçoit 665 mm, Belorado 559 mm seulement malgré une altitude de 700 m. Le petit nombre de stations dont on dispose interdit de tracer des courbes de gradients pluviométriques variables. Toutefois lorsqu'on porte sur un graphique les pluies en fonction des altitudes pour toutes les stations que nous possédons, on constate que les points se groupent assez bien de part et d'autre d'une ligne moyenne très inclinée, indiquant un gradient de 52 mm pour 100 m entre 350 et 1000 m d'altitude. Deux points s'en écartent : l'un situé bien au-dessus représente une station ayant fourni seulement sept ans de données, ces sept années étant relativement pluvieuses, l'autre au-dessous de la courbe reflète la position d'abri derrière la Sierra de la Demanda, de la haute vallée de l'Iregua. Au total avec ses 7000 millions de m³ et sa lame d'eau moyenne de 825 mm, le Système Ibérique en amont du Moncayo représente un apport non négligeable au moment où l'Ebre s'engage de plus en plus profondément dans ce véritable polygone de sécheresse que constitue le bassin moyen.

2° / La sécheresse médio-aragonaise :

En aval de la Sierra de Andía qui retient sur son flanc nord les dernières parcelles d'humidité atlantique, les isohyètes se resserrent brusquement indiquant un rapide dessèchement du climat, et le passage à un climat de cuvette fermée fortement marqué par la continentalité. La brutalité du passage s'inscrit dans le paysage de façon frappante. Lorsqu'on a voyagé depuis Reinosà à travers des landes à bruyères alternant avec de vertes prairies et des champs bien irri-

gués, on est surpris en débouchant sur la Rioja à la sortie du défilé de "Las Conchas de Haro", par l'aspect de paillason que prend alors le paysage en dehors des rubans de verdure qui soulignent le cours de l'Ebre et de ses affluents. C'est que, en quelques dizaines de kilomètres la pluviosité est tombée de près de moitié : de plus de 800 mm sur la Sierra de Andia, elle est passée à 500 mm au niveau du Haro. A partir de ce secteur elle ne cesse de décroître jusqu'à la zone la plus déprimée de la cuvette, entre Zaragosse et Caspe où se trouvent les valeurs les plus basses : 325 mm à Caspe, 316 mm à l'observatoire de Saragosse (moyenne de 70 ans). Ce sont là des valeurs qui se classent parmi les plus faibles de la péninsule et dont on ne trouve l'équivalent qu'au Sud d'Alicante, entre cette ville et Almeria.

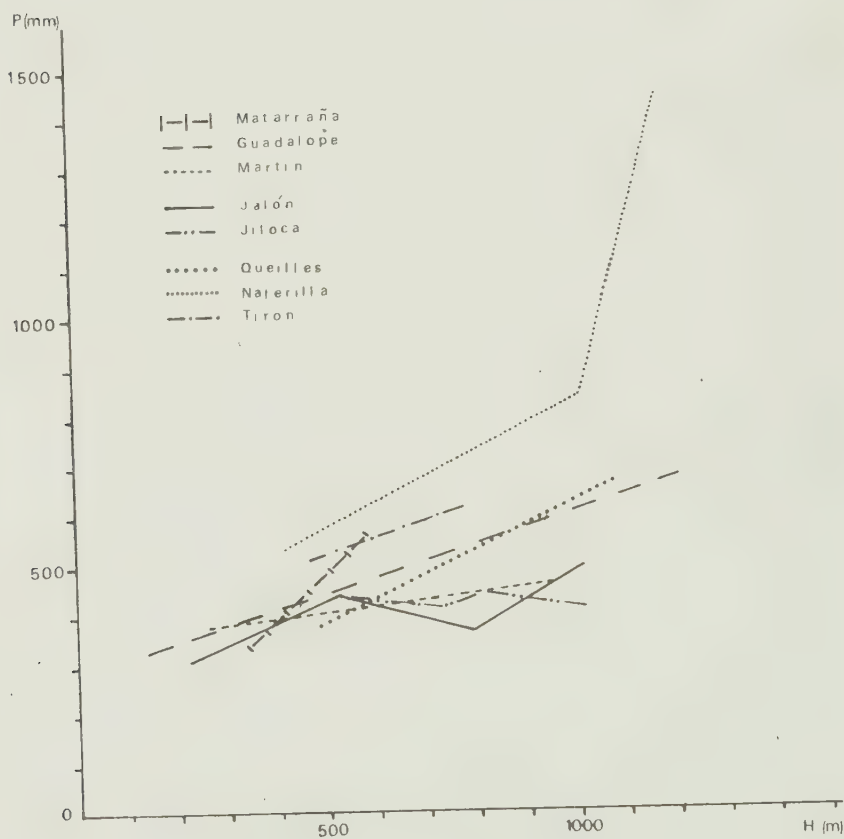
Cette zone déficitaire s'étale de part et d'autre de la gouttière centrale, en particulier dans le secteur des Monegros, véritable steppe d'allure africaine, et dans les basses et moyennes vallées du Guadalepe et Martin où la couleur rouge de la terre et un paysage piqueté d'oliviers à l'infini, nous ramène en pays méditerranéen. L'isohyète 400 m qui limite arbitrairement cette zone dessine de Haro en amont, à Flix en aval du confluent Sègre-Cinca, et des Monegros à la haute vallée du Jalon et du Jiloca, un véritable polygone de sécheresse couvrant 26.000 km² soit le tiers du territoire. Il y a là une grave déficience pluviométrique qui fait peser une lourde hypothèque sur l'alimentation des rivières, surtout si l'on pense que cette faible quantité d'eau tombée est presque totalement perdue par évapotranspiration. Cette situation résulte de la continentalité très poussée de cette région, cernée de tous côtés par des reliefs qui l'abritent à la fois de l'humidité océanique et des perturbations méditerranéennes. Pire que celà, les vents qui arrosent les reliefs bordiers : versant Nord du système cantabrique, versant Est des chaînes catalanes françaises ces reliefs et redescendent du côté opposé avec les caractères

d'un foehn desséchant.

Mais cette sécheresse n'est pas limitée à la vallée moyenne de l'Ebre. Elle s'insinue le long des affluents pyrénéens parfois jusqu'à des niveaux fort élevés ; elle remonte le cours des affluents du Système Ibérique, en particulier entre Moncayo et Maestrazgo pour régner en maître sur les bassins du Jalon et du Jiloca où elle constitue une aire d'aridité indépendante de l'aire médio-aragonaise. Là en effet, en arrière des Sierias de la Virgen, Vicort et Cucalon qui ferment vers l'aval l'éventail des affluents du Jalon, la courbe limitant la tranche des 300 mm s'épanouit au-dessus d'une topographie de dépressions fermées bien abritées où règne un véritable climat de fossé. Aussi malgré l'altitude, les modules annuels sont-ils particulièrement indigents. A 760 m d'altitude, Ariza, sur le Jalon reçoit seulement 364 mm d'eau et Monreal del campo à 940 m sur le haut Jiloca : 400 mm. La presque totalité du bassin supérieur est en effet située en deça de la courbe de 400 m, et comme sur le Sègre supérieur on assiste localement à de légères inversions du gradient pluviométrique : sur le Jalon entre l'isthme pluviométrique de Calatayud, et de la région d'Ariza, sur le Jiloca entre Calamocha et Daroca d'abord, puis au-delà du secteur plus humide de Daroca, jusqu'au voisinage des sources.

Sur le Guadalope et le Martin, sans aboutir à de pareilles anomalies on constate que l'augmentation des pluies avec l'altitude reste faible et ne donne que des gradients très modestes : 30 mm par 100 m sur le Guadalope pour 100 m de dénivellation, 13 mm seulement pour le Rio Martin entre Escatron à 145 m sur le confluent et Montalban qui, à 960 m d'altitude reçoit seulement 466 mm d'eau.

Fig.6: LES GRADIENTS PLUVIOMETRIQUES
DANS LES VALLEES DU SYSTEME IBERIQUE



L'alimentation des rivières de ce secteur se trouve donc gravement hypothéquée dès le départ.

Cette zone de sécheresse du bassin moyen de l'Ebre qui a débuté à l'amont vers Alfaro et s'est épanouie progressivement vers l'aval est interrompue au niveau des chaînes catalanes par une dorsale pluviométrique nettement dessinée, prolongement méridional de cette Catalogne humide qui va du Mont Sègre aux sources mêmes de la rivière de ce nom, au Mont Nègre au Nord de Barcelone. Ce regain d'humidité s'explique par la position de la chaîne catalane par rapport à la dépression des Baléares et aux flux perturbés de Sud-Ouest à Sud-Est qu'elle dirige sur l'Espagne essentiellement en automne et au printemps. C'est pourquoi Tortosa à 54 m d'altitude, reçoit 526 mm, tandis que les reliefs voisins voient leur pluviosité s'élever à 600 et 700 mm.

3°/ Bilan pluviométrique pour les différents bassins versants et l'ensemble du bassin de l'Ebre :

On a vu que l'ensemble des pluies tombées sur le bassin de l'Ebre se répartissait dans les différents bassins versants élémentaires, de façon très inégale. Un planimétrage effectué à partir de la carte des pluies a permis de dresser le tableau X. Ce tableau appelle un certain nombre de remarques :

Il souligne la dissymétrie entre les bassins élémentaires de rive gauche, qui incluent la montagne pyrénéenne, et ceux de rive droite, étalés sur le versant ibérique.

TABLEAU X : BILANS PLUVIOMETRIQUES SUR LE BASSIN DE L'EBRE

Bassins versants		moins de 400mm	de 400 à 500mm	de 500 à 600mm	de 600 à 800mm	de 800 à 1000mm	de 1000 à 1200mm	de 1200 à 1600mm	de 1600 à 2000	plus de 2000 mm	Module pluviométrique
SEGRE	S	1095	3352	1687	3442	1215	855	1305	495	112	748
	%	8	24	12	25	9	6	10	4	0,8	
CINCA	S	1650	2398	924	1562	814	462	968	704	440	747,5
	%	16	24	9	16	8	5	10	7	4,4	
GALLEGO	S	615	1102	450	990	270	151	225	180	45	650
	%	16,5	27	11	24,3	6,5	3,7	5,5	4,4	1,1	
ARAGON	S	176	462	1122	1364	1232	418	1606	1540	880	868
	%	2	5,4	13	15,5	14	5	18	17,5	10	
GUADALOPE	S	1276	352	704	1445	7					547
	%	33,7	9,2	18,5	38	0,2					
JALON	S	5859	2821	607	325	22					420,5
	%	61	29	6	3	0,2					
EBRF A MIRANDA (1)	S		660	3520	2024	726	220				815
	%		9	49	28	10	4				
BASSIN TOTAL	S	26000	14000	11000	17000	4878	3240	4792	2407	1642	623
	%	30	16,5	13	20	5,7	4	6	2,8	1,9	

S : Surface du bassin comprise entre les isohyètes.

% : Pourcentage du bassin compris entre les isohyètes.

(1) y compris le bassin du Zadorra.

Ces chiffres ont été obtenus par planimétrage de la carte d'isohyètes.

Sur la rive gauche, les lames d'eau se situent entre 750 et 868 mm. Seul le Gallego, au bassin étriqué vers l'amont, là où l'altitude détermine des modules élevés, ne reçoit qu'une moyenne de 650 mm; c'est que, en effet, 50 % de son bassin sont situés dans les tranches inférieures à 600 mm. Avec 868 mm, l'Aragon est le mieux pourvu des grands affluents, grâce à sa position très occidentale et à la forme de son bassin très épanoui vers l'amont, au coeur des Pyrénées atlantiques. Aussi, 65 % du bassin sont-ils situés dans la zone de pluviosité supérieure à 800 mm, et plus du quart (27,5 %), dans les tranches supérieures à 1600 mm, tandis que l'aire de faible pluviosité (moins de 400 mm), est ici très peu représentée : 2 % seulement de la surface totale. Sègre et Cinca occupent une position moyenne avec des lames d'eau respectives de 748 et 747,5 mm. Egalité à laquelle on s'attendrait assez peu si l'on considérerait seulement les artères principales, le Cinca naissant dans l'un des secteurs les plus arrosés du bassin de l'Ebre, le Sègre au contraire, dans cette haute plaine Cerdane dont a déjà souligné la faiblesse des modules. Aussi, les secteurs recevant plus de 1600 mm occupent-ils 11,4 % du bassin du Cinca et seulement 4,8 % du bassin du Sègre. Mais le budget du Sègre est relevé par ses affluents de rive droite, la Pallaresa et surtout la Ribagorçana, tandis que celui du Cinca est lourdement affecté par le poids de l'Alcanadre, né dans la zone sous-pyrénéenne et dont le réseau est largement étalé en deçà de l'isohyète 500 mm. C'est donc l'Alcanadre qui porte presque entièrement la responsabilité de ces 40 % de bassin versant situés dans les deux tranches inférieures et même des 50 % de bassin recevant moins de 600 mm.

Au total c'est un volume de pluie de 27.500 hm³ environ que collecte l'ensemble des quatre grands bassins pyrénéens. Si l'on songe que la totalité du bassin de l'Ebre reçoit 53.000 hm³, cela représente un peu plus de la moitié de l'apport pluvial pour 40 % seulement du territoire..

- La situation est bien différente sur la rive droite en particulier en aval du Moncayo. Ici malgré son très grand développement spatial (9500 km² environ) le bassin du Jalon pèse peu dans le bilan pluvial d'ensemble. C'est que, la faible altitude des sources, leur situation très continentale, déterminent déjà dès l'amont une indigence pluviométrique caractérisée. Point de secteur qui reçoive plus de 1000 mm de pluie. La tranche la plus élevée (800 à 1000 mm) n'intéresse que 0,2 % du bassin ; tandis que la sécheresse ne cesse de s'accroître vers l'aval de sorte que 61 % de ce vaste domaine reçoivent moins de 400 mm d'eau par an et 90% moins de 500 mm ! Le Guadalope par contre, plus proche de la Méditerranée profite d'une pluviosité un peu moins avare. La lame d'eau moyenne atteint 547 mm. Pourtant, il n'y a pas, ici non plus, de secteur bien arrosé, même au voisinage des sources, et sur notre tableau les tranches situées au-delà de 800-1000 mm restent vides. Par contre, la zone de pluviosité moyenne (600 à 800 mm) est plus largement étalée : 38 % de la surface totale, et la tranche inférieure (moins de 400 mm) n'occupe plus que le tiers du bassin, ce qui reste, malgré tout, considérable. Aussi, les deux bassins réunis du Jalon et Guadalope ne reçoivent-ils sur 15% de la surface totale qui nous intéresse, qu'un volume pluvial de 6130 hm³ soit 11% du total général.

Le secteur amont, couvrant les montagnes vasco-cantabriques et l'extrémité nord-ouest du Système Ibérique intervient dans le bilan pour 19% du total, alors qu'il représente 8 % seulement du territoire. En valeur relative, c'est donc lui qui fournit l'apport le plus considérable, bien qu'en n'y enregistre nulle part des modules comparables à ceux des Pyrénées. Aucun secteur n'accuse ici des valeurs supérieures à 1600mm. Mais les tranches inférieures : 300 à 400mm et 400 à 500mm ne sont pas non plus représentées, alors qu'elles intéressent, on l'a vu, une part considérable des bassins de rive gauche. Le chiffre annuel de 815mm est donc fait de valeurs moyennes, comprises essentiellement entre 600 et 1200mm, et parmi lesquelles la zone à 600-800mm couvre environ la moitié du domaine qui nous intéresse.

Il nous reste à faire un bilan global pour l'ensemble du bassin. Le fait le plus frappant qui ressort de la lecture du tableau, c'est l'étendue de la zone à faible pluviosité : 30 % du bassin reçoivent moins de 40mm. Si l'on ajoute que 16,5 % supplémentaires sont situés dans la tranche immédiatement supérieure, cela donne un total de près de 50% du territoire recueillant moins de 500mm d'eau par an ! Tandis que les zones bien arrosées (plus de 800mm) ne couvrent que 20 % de la surface totale. Les 30 % restants se répartissant dans les tranches 500-600mm et 600-800mm, représentant une pluviosité moyenne ou déjà faible.

De cette étude sur la répartition des surfaces entre les différentes tranches de pluviosité, nous devons donc retenir une idée essentielle : l'existence d'un fort contraste entre 50 % du bassin, nettement déficitaire (moins de 500mm) et un petit sec-

teur (20 % seulement de la surface) bien arrosé ; contraste né de la juxtaposition de hautes montagnes formant écran de condensation et d'une vaste dépression intérieure empreinte d'une forte continentalité.

CONCLUSION

Ainsi, graphiques, cartes, bilans , tout concourt à mettre l'accent sur le poids énorme des Pyrénées et secondairement des massifs cantabriques, dans l'alimentation de l'Ebre. Ce sont les Pyrénées qui dès le confluent de l'Aragon font de l'Ebre un véritable fleuve digne de ce nom; ce sont elles qui, à Mequinenza, par l'intermédiaire du vaste réseau Sègre-Cinca, le régénèrent après la traversée épuisante de la dépression aragonaise au cours de laquelle les hommes et les éléments se sont ligués pour saigner à blanc le fleuve nourricier. Mais ces eaux ne sont pas distribuées au fleuve de façon régulière. Soumis sur une partie importante de son bassin au climat méditerranéen, il connaît une double irrégularité interannuelle et saisonnière.

B - LES CONTRASTES TEMPORELS -

Le graphique ci-joint indiquant la marche des pluies à trois stations du bassin de l'Ebre montre une allure en dents de scie, caractéristique d'un climat pluviométrique fort contrasté. Pour les dix stations de référence que nous avons choisies, nous avons pu réunir des séries suffisamment longues pour apprécier

TABLEAU XI : IRREGULARITE INTERANNUELLE DES PLUIES DANS LE BASSIN DE L'EBRE

Région Géographique	Station	Période d'observation	Moyenne annuelle en mm	Max. annuel M Min. annuel m	Oscillation M - m	Coefficient d'irrégu- larité M/m	Ecart max. par rapport à $\bar{M}$	σ	Coefficient de variation $\sigma/\bar{m}$
Région Cantabrique	Reinosa	1912 - 1971 60 ans	975	1361 (1915) 550 (1968)	711	2,5	+ 40 % - 43 %	180	0,18
Dépression Centrale	Agoncillo	1948 - 1971 24 ans	398	591 (1959) 280 (1948)	311	2,1	+ 48 % - 50 %	75	0,19
	Zaragoza	1858 - 1971 114 ans	322	579 (1936) 171 (1912)	408	3,4	+ 79 % - 46 %	86	0,27
Versant Méditerranéen	Tortosa	1884 - 1971 187 ans	526	1041 (1884) 259 (1931)	782	4	+ 97 % - 50 %	176	0,33
	Canfranc	1941 - 1970 30 ans	1669	2632 (1960) 1033 (1957)	1569	2,5	+ 55 % - 38 %	447	0,26
Pyrénées	Panticosa	1941 - 1970 30 ans	1617	2622 (1952) 1062 (1946)	1560	2,5	+ 64 % - 35 %	389	0,24
	La Molina	1930 - 33 et 1956 - 71 19 ans	1275	1792 (1959) 752 (1931)	1040	2,5	+ 40 % - 41 %	287	0,22
Région sous- Pyrénéenne	Lerida	1941 - 1970 30 ans	375	611 (1943) 197 (1948)	414	3,1	+ 63 % - 47 %	105	0,25
Versant Ibérique	Calamocha	1941 - 1970 30 ans	398	564 (1959) 194 (1967)	361	22,9	+ 41 % - 51 %	97	0,24
	Santolea	1941 - 1970 30 ans	383	676 (1959) 204 (1961)	472	3,3	+ 76 % - 46 %	107	0,28

l'étendue des variations, préciser la fréquence des phénomènes, voire, essayer de définir des cycles, ou tout au moins des séries pluvieuses et des séries sèches.

1°/ L'irrégularité interannuelle :

Le tableau XI fait apparaître tout de suite des différences fondamentales dans l'irrégularité, en fonction des régions géographiques du bassin. C'est ainsi que se dessine un premier ensemble affecté par une irrégularité relativement modeste. Il s'agit du secteur cantabrique, de climat océanique et des Pyrénées centrales et occidentales, encore soumises à l'influence de l'Océan. Ici, le coefficient d'irrégularité $\frac{M}{m}$ varie de 2,1 à 2,5 seulement, c'est à dire que la pluie peut varier du simple au double. Nous sommes dans les normes des pays océaniques. Chose étrange et qui mériterait d'être étudiée dans d'autres régions océaniques : dans toute la zone cantabrique et l'amont de la Dépression Centrale, on constate que les fluctuations par rapport à la moyenne sont plus importantes dans le sens négatif que dans le sens positif. Avec la continentalité aragonaise ou ibérique, le rapport des deux extrêmes s'élève : 2,9 à Calamocha où une série plus longue donnerait certainement un chiffre légèrement supérieur, 3,4 à Saragosse. A partir de Saragosse, l'irrégularité s'accroît avec l'influence méditerranéenne. Les chiffres de 3,1 et 3,3 pour Lérida et Santalea, seraient certainement portés à 3,5 avec une période de référence plus étendue, et l'on atteint enfin 4 à Tortosa, ce qui signifie que le module annuel peut varier du simple au quadruple d'une année à l'autre. Ici encore il s'agit de valeurs caractéristiques de ce

milieu méditerranéen qui a fourni d'ailleurs sur d'autres bassins des chiffres plus spectaculaires. Pour ne point sortir de la péninsule, citons seulement le chiffre de 4,7 enregistré sur le bas Guadalquivir, pour une période de 30 ans. Mais à l'inverse de ce qui se passe dans le premier secteur, ici, ce sont les écarts positifs qui sont les plus importants. C'est ainsi qu'à Tortosa cet écart est de + 97 %. En 1884 en effet, l'observatoire de l'Ebre a reçu 1041 mm de pluie, soit près du double de la moyenne des 87 ans de référence ! C'est là un phénomène bien propre aux pays méditerranéens, capables de surimposer à un régime d'indigence assez prononcée, des excès pluviométriques extraordinaires.

On aboutit donc à une conclusion qui peut paraître assez paradoxale : en milieu d'influence atlantique, les plus grands écarts par rapport à la normale se situent du côté de la sécheresse. En milieu méditerranéen, ils sont du côté de la pluie. Tout se passe comme si, dans le premier cas, et aussi bien pour les averses que pour les modules annuels, il y avait un plafond ne pouvant être dépassé (1). Dans le domaine méditerranéen, la capacité à pleuvoir n'a pas de limites.

2°/ Répartition des fréquences :

a) Histogramme des précipitations annuelles :

Ils ont été réalisés pour nos dix stations de réfé-

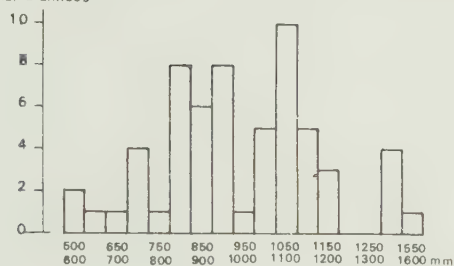
(1) Ce phénomène résulte sans doute essentiellement de la faiblesse des contrastes thermiques.

rence en choisissant pour chaque classe un même intervalle afin de faciliter les comparaisons. Seules les stations de Canfranc et Panticosa ont des intervalles de classe de 100 mm au lieu de 50, en raison de l'étendue des variations annuelles qui aurait donné des graphiques trop étirés. Malgré les inconvénients que présente cette recherche, on sait qu'un changement dans le choix des intervalles de classe peut entraîner une modification de l'allure des histogrammes, certains enseignements peuvent être tirés des figures obtenues.

On constate d'abord une plus grande complexité des régimes océaniques, ceux de Reinos, Canfranc, Panticosa. Les différents essais que nous avons tentés, en modifiant le choix des classes, font tous apparaître deux groupes de classes modales, l'un vers les classes les plus faibles, l'autre, légèrement au-dessus de la moyenne, cette moyenne tombant d'ailleurs dans les classes relativement creuses. Une étude minutieuse des flux perturbés portant sur de nombreuses années, permettrait sans doute de lier ce phénomène à une plus grande fréquence de tel ou tel régime. A partir de Agoncillo, les classes s'ordonnent de façon à dessiner dans l'ensemble une courbe en cloche et la moyenne se situe au sommet ou au voisinage du sommet de la courbe. Mais la figure obtenue est dissymétrique. Les classes inférieures sont moins nombreuses, mais leurs effectifs plus fournis, les classes supérieures plus nombreuses mais à effectifs plus réduits. On retrouve donc cette idée d'une fluctuation par rapport à la moyenne, plus grande du côté de la pluie que du côté de la sécheresse en pays méditerranéen.

Fig. 7: HISTOGRAMME DES PRECIPITATIONS ANNUELLES

nb. d'années

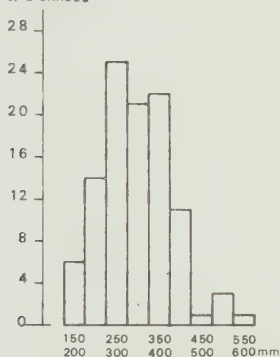


Reinsa (60 ans)

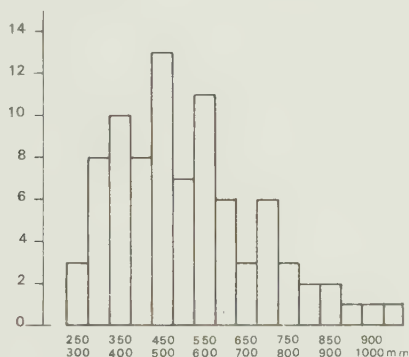


Agoncillo (24 ans)

nb. d'années

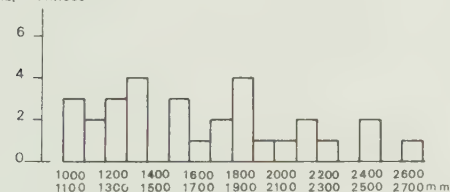


Zaragoza (114 ans)

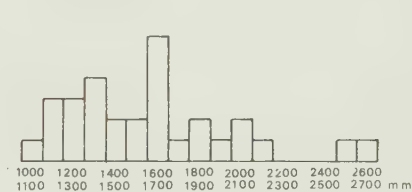


Tortosa (84 ans)

nb. d'années

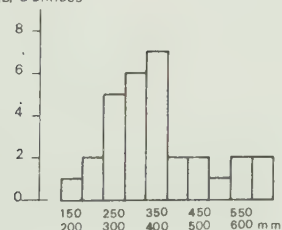


Canfranc (30 ans)

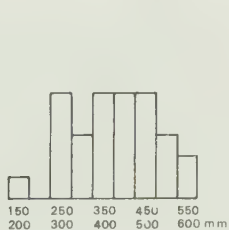


Panticosa (30 ans)

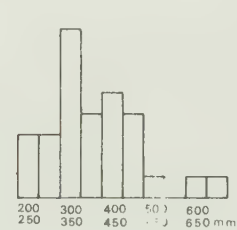
nb. d'années



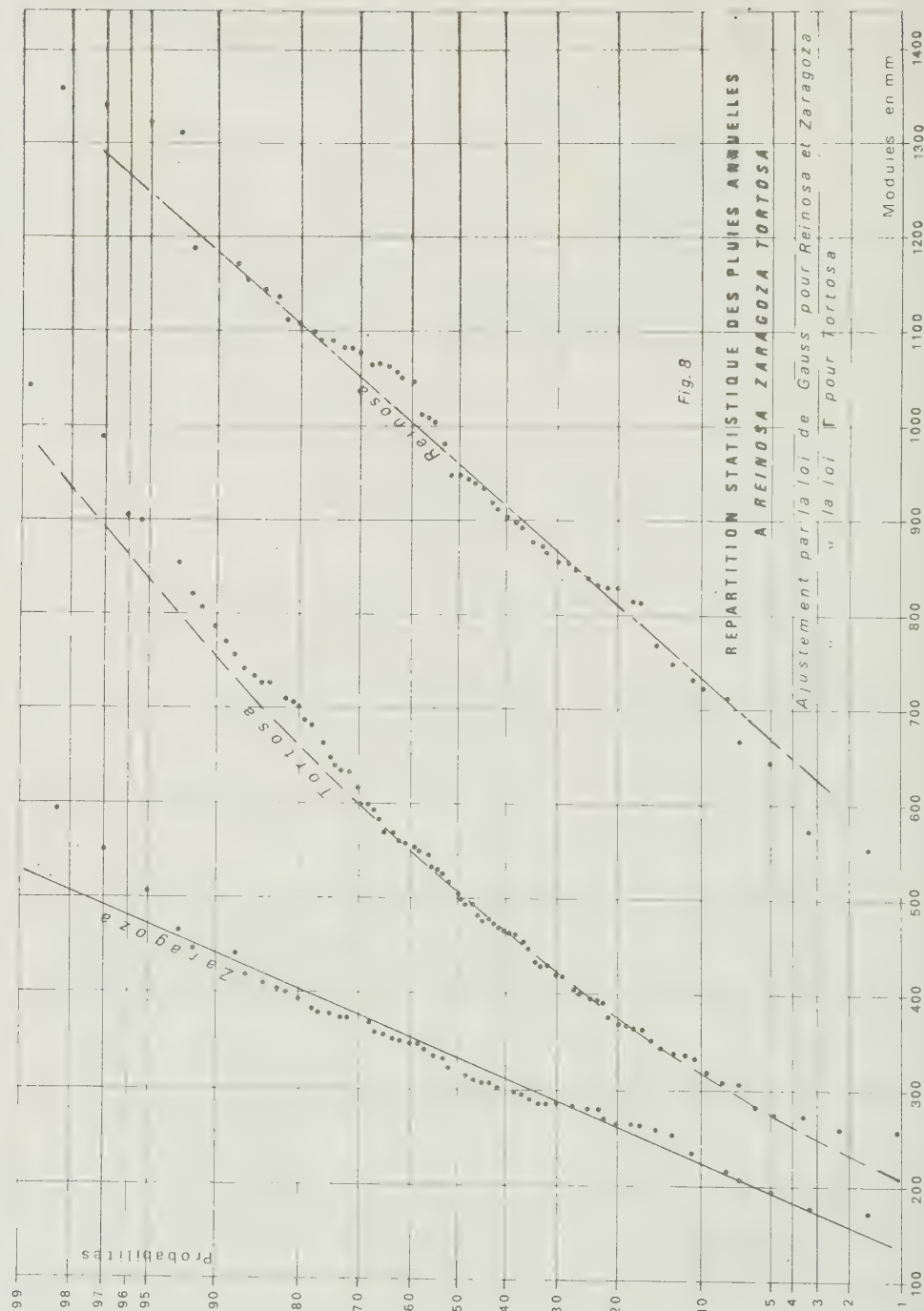
Lérida (30 ans)



Calamocha (30 ans)



Santolà (30 ans)



b) Etude statistique des pluies annuelles à Reinosa, Saragosse et Tortosa :

Pour les trois stations de la vallée de l'Ebre, choisies pour représenter les secteurs amont, moyen et inférieur, nous avons tenté d'adapter une loi statistique à la distribution expérimentale des pluies annuelles. Nous constatons que la loi de Gauss s'applique assez bien à la répartition des pluies à Saragosse et Reinosa, au moins dans la partie centrale, du graphique, pour les pluies comprises entre les fréquences de 3 et 92 % à Saragosse, 8 et 90 % à Reinosa. Par contre l'allure arquée prise par la courbe de Tortosa, nous a incitée à chercher un ajustement par une autre loi. Il est apparu que la loi Γ utilisée généralement pour la répartition des pluies mensuelles ou saisonnières collait ici mieux à la réalité que la loi de Gauss, puisque la courbe d'ajustement correspondante épouse la courbure de la répartition expérimentale, sauf ici encore, aux extrémités, en-deçà et au-delà des fréquences 4 et 90 %.

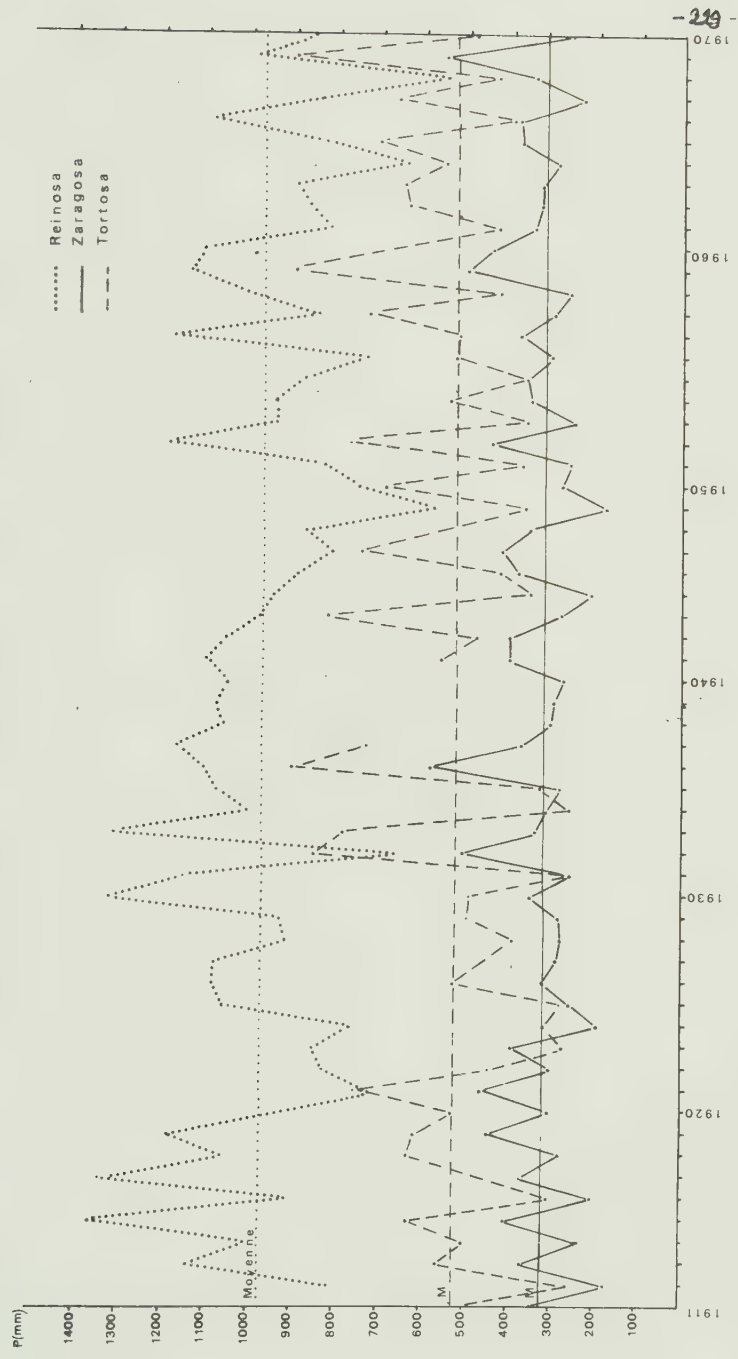
3°/ La marche annuelle des pluies :

A première vue, la complication du graphique représentant la marche des pluies à Reinosa, Saragosse, Tortosa, semble défier toute analyse. Pourtant une observation minutieuse des faits et leur traduction simplifiée sur le schéma ci-contre, permet de déceler des séries sèches et des séries humides, et appelle un certain nombre de remarques :

On constate ainsi que les variations sont de plus grande amplitude à Reinosa, les alternances beaucoup plus rapides ailleurs, et d'autant plus qu'on va vers la Méditerranée. D'autre part il existe le plus souvent des correspondances assez étroites entre le régime de Saragosse et celui de Tortosa - les deux graphiques des pluies annuelles à ces deux stations s'emboîtent assez bien l'un dans l'autre -, la discordance au contraire est la règle générale entre ces mêmes stations et Reinosa. Il serait intéressant de voir si les rythmes de cette Espagne océanique correspondent à ceux de l'Europe atlantique. Nous avons pu au moins établir que les grandes sécheresses de l'Europe tempérée océanique se prolongent dans ce secteur, par exemple celles de 1921, 1947 et 1949 à plus forte raison celles de 1944 et 1948 qui affectèrent très gravement toute l'Europe occidentale. Quant aux rythmes de la partie méditerranéenne, ^{du bassin, s'il est difficile de les comparer de façon étroite} ~~o ceux de la Méditerranée~~ peut-on trouver des correspondances entre les phénomènes de grande envergure. C'est ainsi que la grande sécheresse de 1945 se retrouve du Maroc jusqu'à la Provence, celle de 1925 est très sévère en Méditerranée française comme en Catalogne; en 1954 l'aire de sécheresse débute en Andalousie pour se terminer en Languedoc affectant au passage, le Levant espagnol et la Catalogne. Plus remarquable encore est la coïncidence assez souvent constatée en ce qui concerne les grandes années de pluie, qui se retrouvent assez fréquemment avec quelques nuances dans l'intensité, de Gibraltar au moins, au Languedoc et à la Provence. C'est le cas pour 1915, 1951, 1960, 1963 et 1969.

Mais si l'appartenance des secteurs amont et aval du bassin à des domaines climatiques différents, où les phénomènes le plus souvent se contrarient, entraîne une discordance fréquente sur

Fig.9 : LES MODULES PLUVIOMETRIQUES A REINOSA ZARAGOZA ET TORTOSA



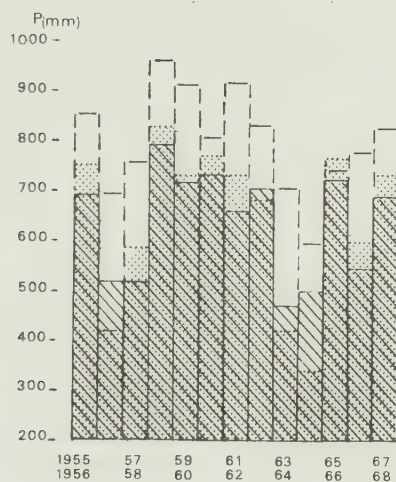
le plan de la pluviosité, il arrive que sécheresse ou humidité s'étendent à tout le bassin. Alors l'effet de compensation ne jouant plus, l'incidence sur l'hydrologie est portée à son paroxysme. Signalons en particulier les sécheresses généralisées de 1927, 1928, 1929 et surtout celles de 1944, 1948, 1950, 1952, 1971, et les années humides de 1933, 1936, 1937, 1941, 1942, 1951, 1957 à 1961, années de fortes crues, notamment en 1959, 1960 et début 1961.

Ces conjonctions restent heureusement assez rares ; le plus souvent excédent ici, déficit là, se conjuguent pour donner une lame d'eau moyenne dont nous allons tenter d'évaluer la valeur et les variations.

4°/ Les variations annuelles de la pluviosité sur l'ensemble du bassin :

Malgré sa faible longueur (13 ans seulement), la période étudiée semble assez représentative. Elle comporte en particulier une des années les plus arrosées du siècle, et une des plus sèches. Avec un écart de 326mm entre l'année la plus humide (795mm en 1958-59) et l'année la plus sèche (469mm en 1963-64), la pluie moyenne sur l'ensemble du bassin n'a pas éprouvé de très fortes oscillations. Elle n'a même pas doublé entre ces deux extrêmes. Dans un domaine aussi fantasque que celui de la pluviométrie, c'est là une variation bien timide, mais qui s'explique aisément si l'on songe à l'étendue du bassin étudié, et à la variété des climats qui s'y trouvent réunis.

Fig.10 LAMES D'EAU MOYENNES ANNUELLES SUR LE BASSIN
DE L'EBRE



Lames d'eau obtenues par planimétrage des cartes
annuelles d'isohyètes en amont de:

-  Tortosa
-  Zaragoza
-  Miranda

Le graphique ci-joint qui donne les modules en amont de Reinos, Saragosse et Tortosa, montre bien comment l'irrégularité des pluies, atténuée à l'amont par l'influence atlantique (coefficient d'irrégularité : 1,7) s'accroît à Saragosse sous l'effet de la continentalité (coefficient d'irrégularité : 2,4) pour s'estomper à nouveau lorsqu'on considère l'ensemble du bassin. Ceci résulte de l'intégration dans la moyenne, de nouvelles régions climatiques, en particulier de la zone méditerranéenne souvent en totale discordance sur le plan de la pluviométrie, avec les régions océaniques d'amont; aussi, le coefficient de variation s'abaisse-t-il alors à 1,6 seulement.

SECTION II - VARIATIONS SAISONNIERES ET REGIMES PLUVIOMETRIQUES -

Bien que dans ce secteur de la recherche l'on raisonne de plus en plus aujourd'hui en terme de fréquence, il ne nous est pas paru inutile de revenir aux traditionnelles moyennes. Leur connaissance est en effet nécessaire pour la détermination ultérieure d'un certain nombre de données comme l'évaporation, les bilans hydrologiques par exemple. C'est pourquoi nous donnons dans les tableaux XIIa, b, c, d et les graphiques 11 et 12, à la fois les paramètres de fréquence les plus employés : quintiles et médiane, et les moyennes. Sur les diagrammes relatifs aux régimes saisonniers, nous avons voulu mettre l'accent sur ces moyennes et sur la différence entre régime moyen et fréquence. C'est pourquoi le premier est indiqué en graphiques batons, tandis que les fréquences sont

représentées par des courbes. Un coup d'oeil rapide sur les diagrammes montre tout de suite que des régimes bien différents se partagent le bassin. Il convenait non seulement de les analyser mais d'en donner l'extension et les limites. Dans ce but ont été réalisées les cartes de répartition des maxima et minima, construites à partir de nos 220 stations de référence, pour lesquelles nous avons calculé l'indicatif saisonnier de Musset. Pour rendre ces cartes plus lisibles, nous avons représenté isolément le maximum principal et le minimum principal.

A - LA VARIÉTÉ DES RÉGIMES PLUVIOMÉTRIQUES -

1° / Le régime vasco-cantabrique et l'influence de l'Océan :

Le graphique de Reïnosa qui le représente (fig.12) traduit un régime simple à deux saisons, une saison de pluie en hiver, une saison relativement sèche en été. C'est là un régime typiquement océanique. Les moyennes se disposent en paliers réguliers de septembre à juin ; seuls, juillet et août très creusés, se détachent nettement de l'ensemble. Les mois pluvieux se situent donc en saison froide, avec un maximum en décembre qui détient les records pour la médiane, les quintiles inférieurs et le nombre de jours de pluie.

Ce régime est en parfaite concordance avec le régime

aérogologique, caractérisé par une grande fréquence des courants zonaux ou subzonaux poussant vers le continent des masses d'air peu différenciées, génératrices de pluies fines et durables. Par contre au niveau des fractiles supérieurs, on voit ressortir les mois de janvier, novembre et octobre. Ces fortes valeurs résultent moins d'une augmentation du nombre de jours de pluie que de la fréquence, au cours des mois d'automne, des perturbations de NW5 (c'est à dire celles qui donnent à cette époque de l'année les plus fortes intensités pluviométriques).

Ainsi s'expliquent les records de cette saison. Le phénomène est plus étonnant en janvier. Seule une étude fréquentielle des flux perturbés portant sur des très longues années pourrait nous dire si, comme nous le supposons, ce sont encore ces flux de NW5 qui valent à ce début de l'année de semblables écarts. La preuve est faite dans tous les cas pour janvier 1954, mois le plus arrosé de la période 1949-1968. Le nombre de jours de pluie ne fut pas ce mois là exceptionnel (dix-huit seulement ce qui correspond au troisième quintile), en raison de l'établissement pendant toute la deuxième décennie et partie de la troisième, d'un régime anticyclonique. Par contre le début et la fin du mois virent passer des perturbations de NW apportant des pluies journalières de 20, 30 et même 38mm, soit des intensités relativement rares dans ce milieu.

Si le régime hivernal de cette région la rapproche davantage du climat breton que du climat aquitain, la sécheresse estivale déjà accusée nous rappelle que nous sommes ici à la latitude des pays méditerranéens. En cette saison la protection anticyclonique, le voisinage de l'Océan dont on sait qu'il interdit les orages

de type continental comparables à ceux qui affectent le versant ibérique, tout ceci abaisse la tranche d'eau à des niveaux comparables à ceux du bassin moyen. Sans compter la position d'abri dans laquelle se trouve Reinosa lorsque soufflent de l'anticyclone canabrique vers la dépression ibérique estivale, des vents de secteur Nord qui descendent sur les flancs de Peña Labra, avec les caractères d'un foehn.

En somme, on a là un régime océanique voire très océanique pendant les trois quarts de l'année, méditerranéen pendant le dernier quart (1). C'est sans doute la raison pour laquelle l'écart entre les mois extrêmes est si élevé : le coefficient d'irrégularité s'élève à 5,1 (2,7 à Brest).

Ce climat intéresse tout le haut bassin, non seulement le secteur Cantabrique, mais les massifs basques et les Pyrénées occidentales jusqu'au rio Salazar et à la vallée du Roncal. L'étude des crues permettra d'ailleurs ultérieurement de préciser cette intéressante frontière climatique. Au Sud le passage à un autre domaine se fait dans le secteur des "Picos de Urbion". A l'intérieur de ce vaste périmètre, on constate des nuances. C'est ainsi que sur les massifs basques, au débouché des seuils menant vers l'Océan, sur les versants nord des reliefs, les flux de NW et N sont plus efficaces et les pluies d'hiver plus fournies : 185mm en décembre à Alsasua sur l'Araquil, et 481mm pour l'ensemble de l'hiver. D'autre part, l'étude des indices saisonniers fait apparaître un maximum secondaire automnal sur l'extrémité nord ouest du Système Ibérique, et de Vitoria au Salazar, un maximum secondaire de printemps sur le reste du domaine.

(1) C'est le régime caractéristique des façades W des continents sous ces latitudes. On le retrouve par exemple sur la façade pacifique des Etats-Unis, dans l'Oregon et le N de la Californie.

2° / Les régimes Pyrénéens et le problème des transitions climatiques :

Deux régimes pluviométriques différents se partagent la chaîne des Pyrénées : un régime d'affinité océanique à l'Ouest à deux saisons : maximum de saison froide, minimum d'été, un régime d'affinité méditerranéenne à l'Est, à quatre saisons et maxima équinoxiaux. La transition se fait au niveau de l'interfluvie Cinca-Gallego, dans le secteur du Mont Perdu et de la vallée d'Ordessa. Mais elle s'est amorcée dans la haute vallée du Subordan par le glissement du maximum principal de l'hiver à l'automne. De toutes façons, cette région reste caractérisée par un volumineux apport hivernal, soudé à de grosses pluies de printemps et d'automne et opposé à un creux estival assez relatif, en aucune façon comparable à celui des régions cantabriques, encore moins des climats méditerranéens du bassin inférieur.

A l'Est du Cinca, l'éloignement de l'Océan, la protection topographique contre les vents et perturbations d'Ouest, fait que les pluies d'hiver s'effondrent au point de constituer un minimum principal tandis que l'automne reste très arrosé par les pluies méditerranéennes, de même que le printemps, en particulier la fin du printemps où, aux pluies frontales liées aux perturbations méridiennes caractéristiques de cette saison s'ajoutent dans les vallées abritées les premières pluies de convection. Celles-ci vont se poursuivre durant tout l'été, au point de déterminer dans les hauts bassins : Cerdagne, haute Pallaresa, haute Ribagorçana un maximum principal de saison chaude. On a là de véritables climats de fossé où la topographie développe une certaine continentalité.

Fig.11 VARIATIONS SAISONNIERES DE LA PLUVIOMETRIE

I SECTEUR PYRENEEN, SOUS PYRENEEN ET IBERIQUE

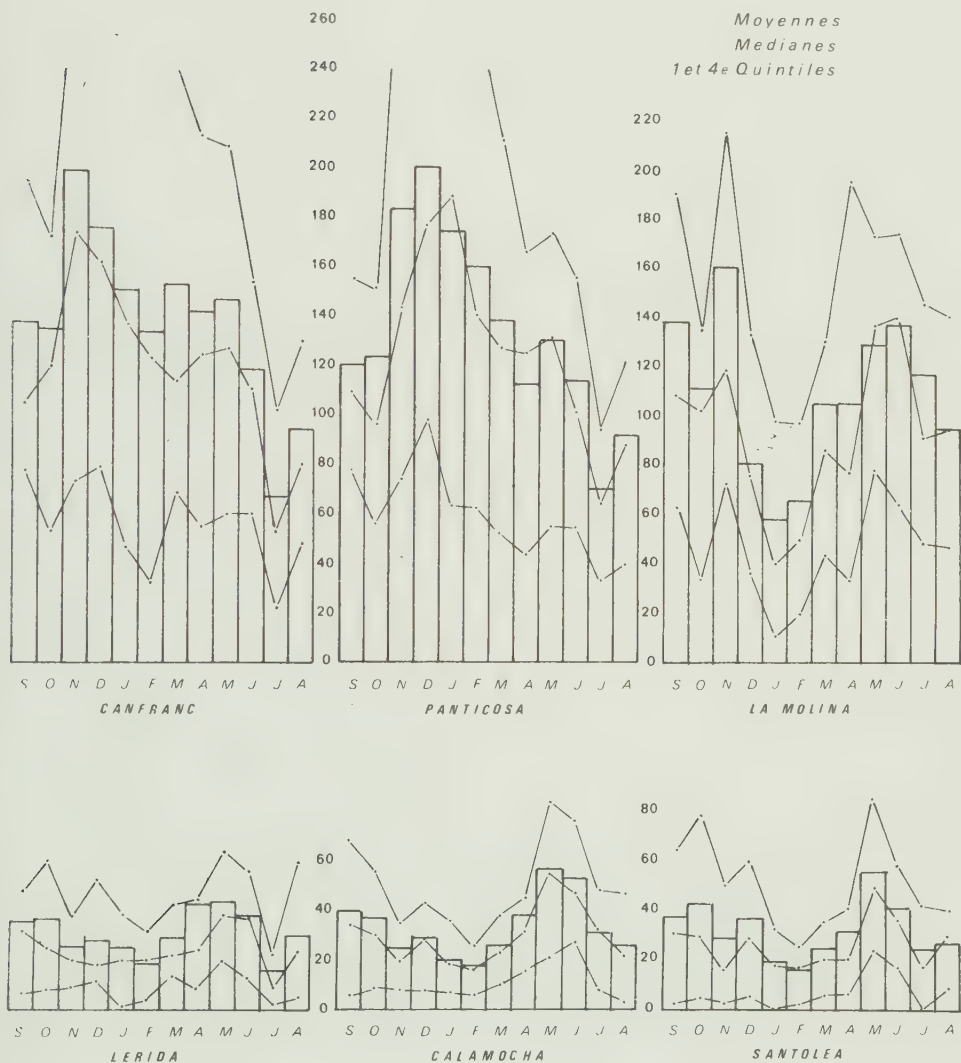
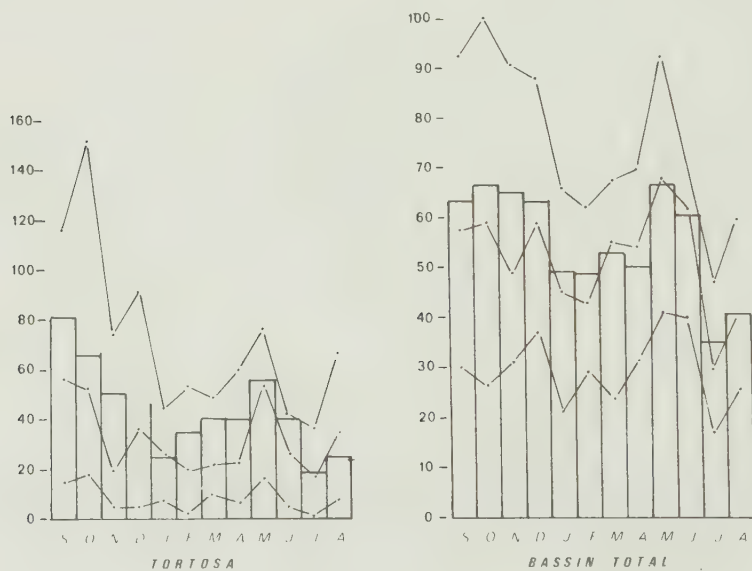
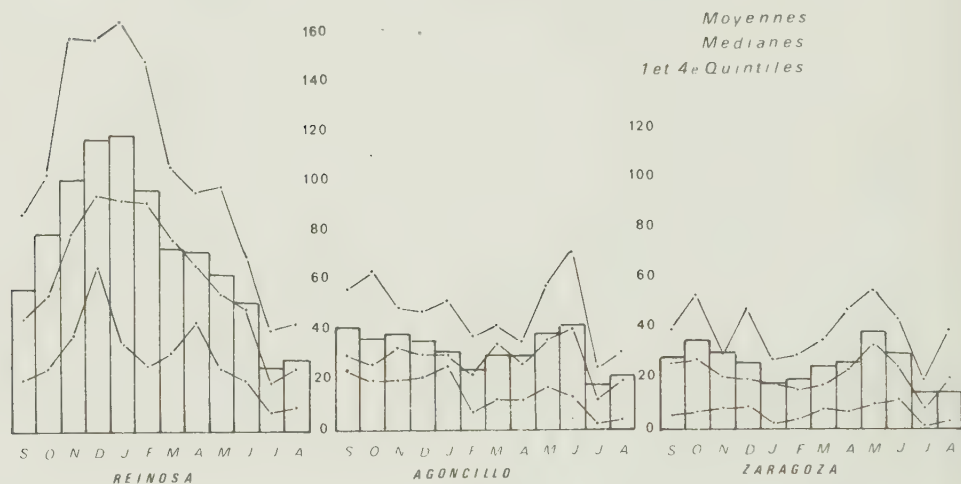


Fig.12 VARIATIONS SAISONNIERES DE LA PLUVIOMETRIE

II AU LONG DE LA VALLEE DE L'EBRE



3°/ Les tendances continentales de la Dépression Centrale :

A partir du défilé de Haro, on passe à une région de climat beaucoup moins simple où les influences méditerranéennes d'aval viennent interférer avec les influences atlantiques d'amont, tandis que la topographie introduit un nouvel élément : la continentalité . Toutefois, à l'intérieur de cette zone étirée au long du fleuve, l'influence respective des facteurs varie : c'est pourquoi il était nécessaire de donner deux exemples , ceux de Logroño et de Saragosse , pour montrer les transitions.

De l'examen des graphiques, trois caractères se dégagent dès l'abord :

- la complexité des phénomènes.

- la faible irrégularité intermensuelle : 2,5 à Logroño, 2,3 à Saragosse. (Elle était de 5,1 à Reinos).

- la faiblesse générale des volumes pluviométriques mensuels.

Le régime de la dépression est donc un régime complexe à quatre voire six saisons pluviométriques que les quintiles mettent d'ailleurs mieux en évidence que les moyennes. Cette région connaît en effet des pluies d'automne de type méditerranéen, capables d'apporter de grosses tranches mensuelles, et de constituer un maximum très proche du maximum de printemps.

Survenant après la sécheresse estivale qui a croûté les sols en surface, ces pluies peuvent ruisseler rapidement et provoquer la "sortie" des torrents, mais elles ne sont pas assez importantes pour saturer les sols. Après un mois de décembre assez capricieux (le quintile supérieur pousse en ce mois une pointe qui

annonce celle de Tortosa), janvier et février accusent un creux marqué. C'est l'époque en effet où sur la Meseta refroidie s'installe l'anticyclone thermique qui étend sa protection jusque sur le bassin moyen. Le volume pluvial s'élève ensuite progressivement à partir de mars pour donner, à la fin du printemps un nouveau maximum. Mais à la différence des régions de façade méditerranéenne, ce maximum est principal et il est plus tardif ; centré sur mai ou juin selon les secteurs... ou les années. D'autre part, et ceci est essentiel dans notre perspective, cette moyenne est faite d'extrêmes très éloignés comme le montre l'écart entre les quintiles inférieurs et supérieurs. C'est dire que, certaines années la sécheresse estivale commence dès le mois de mai, et il faut s'attendre alors à des étiages très creusés ; d'autres années, la multiplication des orages entraîne des excès hydrologiques dans l'autre sens.

En juillet-août on atteint le minimum principal. Mais un minimum peu éloigné de celui de janvier-février, à telle enseigne que la situation peut se renverser dans bien des stations du bassin, pour peu que les conditions locales accentuent les phénomènes de convection estivale, par conséquent le caractère continental. D'ailleurs d'une façon générale, la part de ces deux mois estivaux dans le total annuel augmente du NW au SE, de l'amont vers le centre de la cuvette, avec la continentalité. Il était de 5,2 % à Reinosa, 7,3 % à Onia, 9,4 % à Logrono, 10,3 % à Saragosse. Inversement comme on l'a vu l'apport des mois froids diminue dans le même sens, en même temps que l'influence des masses d'air atlantiques.

Les caractéristiques de ce climat lui ont valu à juste

titre la qualification de continental méditerranéen. Signalons toutefois que si ce terme s'applique bien à la région de Saragosse, il doit être nuancé pour la partie amont où les influences atlantiques sont encore importantes et où les vents d'Ouest apportent encore une part non négligeable de la tranche d'eau annuelle.

Ce type de climat occupe dans notre domaine une vaste surface. Avec des nuances déjà évoquées, il règne du défilé de Haro jusqu'aux gorges de Caspe à l'aval, sur l'ensemble des régions sous pyrénéennes (voir Lerida) et sur les bassins du Jalon et Guadalepe (Calamocha et Santolea) dont les graphiques sont très proches de ceux de Saragosse. Par son originalité, ce dernier secteur mérite quelque attention. Si la marche annuelle des pluies y rappelle ce que nous avons trouvé dans le centre de la cuvette, un changement non négligeable intervient dans les rapports saisonniers. Le minimum d'hiver est désormais très nettement le principal. C'est que nous sommes ici dans le secteur le plus proche de la Meseta Ibérique, le plus souvent placé sous la protection de l'anticyclone thermique hivernal. Par contre l'été connaît de nombreux orages qui apportent 20 à 30 % du total annuel. Ce climat est donc encore par son double maximum de printemps et automne un climat de type méditerranéen, mais le caractère continental y est plus accusé que dans le centre Aragon, et on passe même à un véritable climat de fossé à maximum principal d'été, sur le haut Jiloca. Plus à l'Est, (cf. Santolea), on voit s'affirmer les pluies méditerranéennes d'octobre, qui annoncent le régime plus purement méditerranéen de la région de Tortosa.

4° / Les contrastes saisonniers du versant méditerranéen :

- Le versant méditerranéen est caractérisé par un régime à quatre saisons, comparable en tous points à celui de nos côtes méditerranéennes françaises. On y trouve les mêmes contrastes saisonniers, avec un été très sec, apportant 15 % seulement du total annuel, un hiver guère plus favorisé, 20 % du total, et des saisons intermédiaires bien arrosées, (30 % de la pluie annuelle s'abat en automne, 28 % au printemps).

Le coefficient d'irrégularité, très faible en milieu à tendance continentale se relève ici pour atteindre des valeurs typiques de pays méditerranéens : 4,2 à Tortosa.

La répartition de ces différents régimes pluviométriques telle qu'elle apparaît sur notre carte, fait ressortir d'intéressants carrefours climatiques. Elle souligne par exemple dans la région entre Aragon Subordana et haut Gallego le passage d'une zone à prédominance de vents d'Ouest et maximum hivernal, à une zone où les effluves méditerranéens déterminent déjà un maximum automnal.

Dans la haute vallée de l'Ebre, entre le confluent de l'Oca et Miranda, on passe progressivement du régime atlantique à deux saisons au régime méditerranéen à quatre saisons par un recul progressif des pluies d'hiver qui passent d'abord au deuxième rang après celle d'automne, puis au troisième rang après l'automne et le printemps. Le régime à quatre saisons est bien établi à partir du secteur Miranda-Haro. Remarquable aussi cette similitude que fait ressortir la carte entre haut Jiloca, haut Guadalope d'une

part et une grande partie du bassin du Sègre d'autre part. On verra plus loin que, lors des crues, ces rivières réagissent souvent en effet en même temps. En ce qui concerne les régimes pluviométriques, les ressemblances concernent surtout les pluies d'hiver, très faibles dans les deux cas, et les orages estivaux fréquents et violents dans les deux secteurs au point de placer cette saison au premier rang de l'indice saisonnier, ou tout au moins, à une bonne deuxième place. Nous retrouvons par l'étude de ces variations saisonnières, un caractère essentiel déjà mis en relief par l'étude des modules annuels : la continentalité très poussée de tout le revers de la Cordillère Catalane, continentalité quise poursuit et s'accroît d'une part vers le haut Sègre, d'autre part vers le haut Jiloca, du fait de l'éloignement de la mer et de la topographie.

Il est intéressant pour conclure sur ces régimes pluviométriques et après avoir montré comment ils se disposaient sur l'ensemble du bassin, de faire un bilan, et rechercher quel régime moyen résulte de leur combinaison.

B - LE RÉGIME PLUVIOMETRIQUE MOYEN DU BASSIN (fig. 12)

Cette recherche n'est pas un simple jeu de l'esprit. Le régime hydrologique moyen de l'Ebre inférieure dépend directement. Deux sortes de documents nous aideront dans cette analyse :

- le tableau donné en annexe des quantités d'eau mensuelles et annuelles tombées sur l'ensemble du bassin, et le graphique d'étude fréquentielle qu'il nous a permis de réaliser.

- Les cartes de répartition des maxima et minima déjà utilisées.

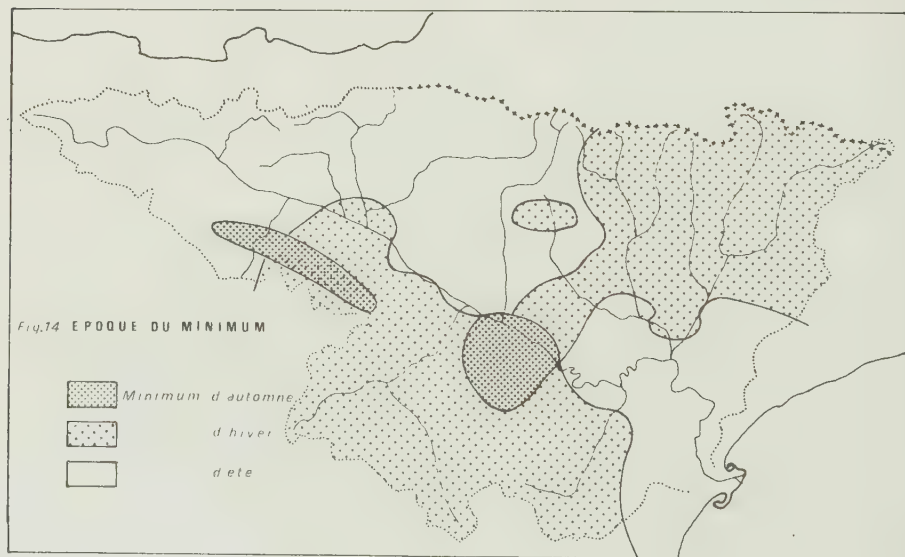
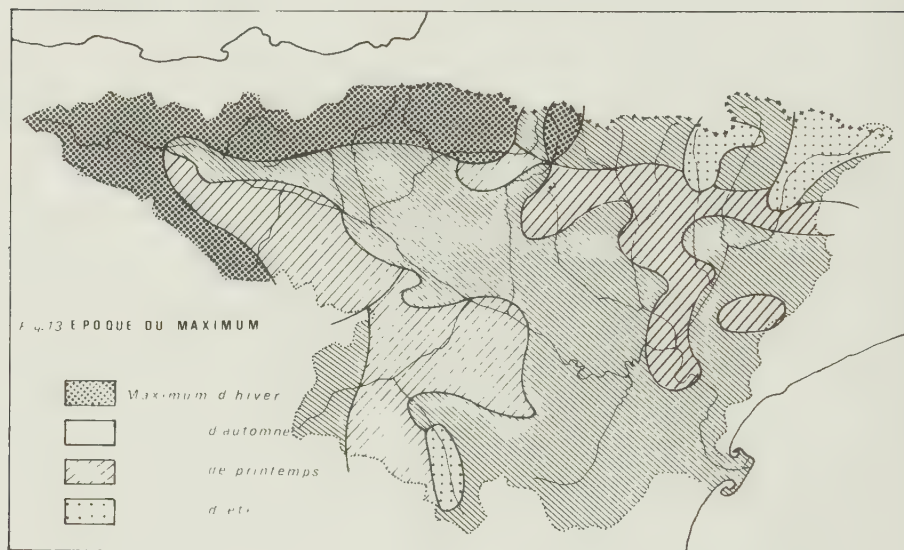
Le calcul de l'indicatif saisonnier pour l'ensemble du bassin a donné le résultat suivant : APHE. C'est donc le caractère méditerranéen qui l'emporte avec la prédominance des pluies d'équinoxe, mais fortement tempéré par l'influence océanique, le total hivernal serrant de très près celui du printemps. Essayons donc de faire un bilan saison par saison pour l'ensemble du bassin.

L'automne est partout bien arrosé, quelle que soit la nuance climatique à laquelle on ait affaire. Aussi apporte-t-il 30 % du volume annuel de la pluie tombée sur le bassin de l'Ebre. D'abord, ce maximum d'automne est le plus étendu. Il intéresse environ 40 % du bassin. Il l'emporte en effet sur une partie de la Dépression Centrale ; au Nord du fleuve malgré la concurrence des pluies printanières, il s'étale jusqu'au pied des Sierras Extérieures qui annoncent l'approche des Pyrénées, saute ces premiers bourrelets montagneux pour triompher à nouveau sur la haute montagne, du Cinca jusqu'à la Sierra del Cadí ; il s'étale enfin en maître incontesté sur tout le Sud-Est du bassin, des sources du Guadalupe jusqu'à la mer. D'autre part, là où les pluies automnales ne constituent pas un maximum principal, elles tiennent généralement un honorable second rang. C'est le cas pour les Sierras Extérieures, les massifs basques, le NW du Système Ibérique, le bassin du Jalon et la plus grande partie de la vallée du Sègre. Très peu de régions par contre ont leur minimum en cette saison. Seulement une étroite bande sur le versant nord du Système Ibérique, abrité des flux méditerranéens de SE et SW et où la continentalité interdit un mini-

mun estival. Mais partout les pluies d'automne se révèlent très variables d'une année à l'autre. Pour peu que l'anticyclone des Açores s'attarde à ces latitudes et au-delà de la date normale, c'est alors la catastrophe, les semailles compromises, les réservoirs qui ne se remplissent pas... Les automnes 1948 et 1954 ont connu de semblables problèmes. Avec 6571 millions de m³ et 7990 millions de m³, ils ont reçu respectivement 40 et 50 % seulement de la moyenne des vingt cinq dernières années. Par contre, lorsqu'un régime perturbé de secteur sud s'établit sur l'Espagne avec une tendance opiniâtre à se régénérer sans cesse, il faut faire face à l'excès inverse : 29.300 millions de m³ à l'automne 1960, dont 15.539 millions pour le seul mois d'octobre, soit vingt fois le chiffre de 1968 ! Même rapport entre les 15.698 millions de m³ de novembre 1967 et les 881 millions de m³ de novembre 1953 ! On imagine aisément que les résultats sont tout aussi catastrophiques que dans le cas des grandes sécheresses.

Le coeur de l'hiver est assez nettement déficitaire. En effet, les régions qui ont leur maximum en cette saison n'occupent dans le bassin qu'une position assez marginale. Il s'agit essentiellement de cette bande de hautes terres qui se déroule autour de la haute vallée de l'Ebre depuis les Picos de Urbion au Sud, au secteur Veral-Subordana où ce régime rechigne d'ailleurs à disparaître, puisqu'on le voit ressurgir de façon sporadique sur les versants qui pour des raisons d'altitude et surtout d'exposition, sont plus sensibles aux perturbations atlantiques que méditerranéennes. C'est le cas de Panticosa. Ailleurs, en milieu méditerranéen, par suite du recul de la dépression des Baléares, et surtout en milieu continental, janvier et février connaissent une réelle indigence.

LES REGIMES PLUVIOMETRIQUES DANS LE BASSIN DE L'EBRE



On verra que cette faiblesse hivernale n'empêche pas le fleuve de rouler de gros débits proches du maximum.

Dès le mois de mars, les précipitations augmentent partout et après une accalmie généralisée en avril, s'affirment en mai assurant à de vastes secteurs un maximum de printemps. C'est le cas de part et d'autre de la cuvette centrale, au Nord, sur toute la zone de moyenne altitude qui s'étire du bassin de Yesa à la Sierra del Cadi, au Sud sur le retombée du Système Ibérique et la plus grande partie du bassin du Jalon. D'autre part, une grande partie du secteur à maximum principal d'automne a son maximum secondaire au printemps tandis que peu de stations connaissent alors leur minimum annuel. C'est pourquoi avec 25 % de l'apport annuel total le printemps se place pour l'ensemble du bassin en un bon deuxième rang. Cette place, il l'a doit à l'action conjuguée des courants de Gibraltar, de la dépression des Baléares, alors en pleine activité et des premières pluies de convection. Mais si les volumes moyens de printemps sont comparables à ceux de l'automne (et pour le mois de mai ils sont strictement égaux), la détermination des quintiles nous a montré un régime moins contrasté. En effet, si le total saisonnier peut tomber aussi bas il n'atteint jamais à l'autre bout de l'échelle les records de l'automne. Les extrêmes mensuels enregistrés pendant notre période de référence sont de 864 millions de m³ en avril 1960 contre 8927 en mars 1959, ce qui représente encore un rapport de 1 à 10. Mais souvenons-nous qu'en automne ce rapport est monté à 20.

L'été est généralement une saison de grave pénurie que les orages des hautes vallées pyrénéennes n'arrivent pas à conjurer.

Si l'on songe que l'évaporation, intense sous ces climats, prélève encore une partie de cette maigre tranche d'eau, on conçoit que les rivières souffrent de pénibles étiages. Remarquons au passage que les deux grandes régions qui connaissent alors leur minimum sont des régions climatiquement opposées. Il s'agit du secteur amont d'influence océanique, et de toute la partie sud-est du bassin, d'influence méditerranéenne.

Dans l'ensemble le bassin connaît donc deux mois nettement déficitaires : juillet et août tandis que tout au long des autres mois de l'année les compensations qui s'effectuent entre des climats à régime pluviométrique complémentaire tendent à égaliser les tranches d'eau.

SECTION III - MODALITES DES CHUTES DE PLUIE -

On sait qu'en hydrologie, et plus particulièrement dans la genèse des crues, la façon dont tombe la pluie est souvent bien plus importante que le volume pluvial global. Aussi avons-nous cherché à préciser ces modalités en orientant nos recherches dans deux directions :

- l'étude des intensités journalières des chutes de pluie.
- L'étude plus précise des grandes averses.

TABLEAU XII : VARIATIONS SAISONNIERES : MOYENNES, MEDIANES
ET QUINTILES

STATIONS	Quintiles	AUTOMNE				HIVER		PRINTEMPS			ETE			Année
		S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	
REINOSA	—	11,5	12,5	8,8	13,8	10,1	0,2	5,1	1,5	19,1	4,6	1,9	0,2	550
	1	22,2	26,4	40,6	67,5	36,5	27,8	32,7	45,9	26,4	21,6	8,3	10,4	746
	2	36,5	50,9	71	84,5	81,7	79,5	62,7	61,5	53,4	38,1	15	20,4	849
	3	53,2	62,6	103,2	116,5	121	106	81,2	73,8	58,8	55,2	24,7	31,1	900
	4	88,5	120,9	160,6	159,6	66,5	150,2	107,9	97,8	99,3	71	41	44,7	1047
	5	193,3	307,5	251,9	302,1	313,9	281	175,7	135,8	124,6	169,3	88	76,6	1183
	—													
	Me	45,7	55,4	81,1	96,3	93,9	92,7	78,4	68,5	55,2	49	20,1	20,2	820
	—													
	Mo	57,9	79,6	101	118,8	120,7	98	74,3	73,4	63,7	53,1	26,2	29	891
AGONCILLO	—	4,3	1,5	5	0	3,3	1,3	0,5	3,8	3,9	4,6	0,1	2,4	280
	1	13,1	10,6	10,3	11,3	8,6	5,0	1,6	12,2	17,5	13,6	2,1	4,2	311
	2	25,9	20,3	23,7	27,8	24,9	18,3	26,7	22,3	28,5	23,7	9,3	5	352
	3	37,9	38,6	34,9	35,9	37,9	23,9	38,7	27,2	40,5	44	11,3	23,5	399
	4	56,9	63,7	49	48,5	52,1	38,3	42,2	36,1	58,5	71,9	25,4	31,1	441
	5	149,2	91	197,7	95,9	75,3	59,4	53,8	146,6	75,5	88,7	68,8	64,4	591
	—													
	Me	30,2	27	32,9	29,9	30,6	22,2	35	26,7	36,3	41	11,9	20	386
	—													
	Mo	42,5	37,2	39,3	35,7	32,4	24,1	30,7	30,4	38,7	42	17,9	21,7	385
ZARAGOZA	—	ip	1,5	1,7	0,9	0	0,4	ip	ip	0,9	1,1	0,3	0	174
	1	6,4	6,6	8,1	9,4	2,4	3,6	7,6	7,1	10,4	11,8	1,1	3	261
	2	21,5	17,4	13,6	15	16	11,5	15,3	15,2	21,4	21,9	7	1,9	303
	3	32	31,7	23,9	22,6	14	19,1	26,1	27,9	38,4	30,2	12,1	26,9	352
	4	39,8	53,9	31,1	48,8	28,2	30,4	36,2	47,9	56	44	20,4	39,8	398
	5	99,3	120,7	146,4	90,3	59,5	65,2	11,2	172,2	169,6	131,5	72,3	63,4	547
	—													
	Me	27,1	27,8	20,7	20	18,2	16,4	18,5	24,3	34,3	24,9	9,1	19,9	338
	—													
	Mo	29	36	31	27	18	20	25	27	39	30	17	17	316

Me : Médiane ; Mo : Moyenne.

ip : inappréciable.

STATIONS	Quin- tile	AUTOMNE			HIVER			PRINTEMPS			ETE			Année
		S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	
CANFRANC	—	10	34	30,6	6	17	7	7	11,5	19,6	14	7	10	1033
	1	77	53	73	79	46,5	32,5	66,5	55,2	60	60,7	22,2	48	1192
	2	96,5	77	123,3	137	115,5	99,5	94	105	128	94	42	78	1397
	3	154,9	139	201,5	189	162,5	139	135	146	139,3	121	65	93	1784
	4	193	171,5	311	284	230	227,8	248,5	213	208,6	153,2	102	129	2049
	5	384	446	507	422	432	294	463	319	292	238,1	164,5	275	2602
	Me	104	119	172,5	161,5	138	122,7	112,7	134,5	137	110	52	90,3	1625
	Mo	137,7	133,9	198,8	175,1	149,2	133,3	151,9	141,4	146,3	118,1	67,7	94,6	1670
	—	14,5	29,9	23,4	22,5	5,6	1	9	9	34,8	34,9	20	15	1062
	1	77,6	56,5	74	98,5	63,6	62	52,6	44	55	54,1	33,8	49,6	1276
PANTICOSA	2	101	80	111,8	150	157,4	98	88,4	97,4	118,2	89,7	43,8	63,4	1484
	3	121,4	111,8	171,2	204,8	214,8	169	143,4	132,4	141,0	126,2	71,6	100	1650
	4	155,8	151,2	302,7	297,5	254,7	268	211,4	166,2	173,9	155,4	94,6	121	1898
	5	262,8	424,5	566,	410,4	420,4	424,6	352,6	206,6	328,2	237,6	184	190	2622
	Me	109,7	96,4	143,5	176,6	188,2	139,5	127,2	126,3	131	101	64,4	88	1614
	Mo	120,4	123,3	183,4	199,7	174,8	160,7	138,7	112,4	129,7	114,7	69,2	92	1617
	—	18	7	46	8	4,8	3,4	7	15	38	13	21	25	752
	1	63	34	73	36	11	20	44	33	78	64	48	47	1011
	2	84	87	88	54	25	37	81	59	88	127	79	76	1099
	3	114	116	141	110	48,2	57	95	87	143	153	97	106	1257
LA MOLINA	4	190	135	215	133	98,8	97,4	130	195	179	174	146	140	1398
	5	385	305	368	186	141	173,5	317	221	211	257	244	193	1792
	Me	108	102	118	76	40	50	86	77	137	140	91	95	1207
	Mo	138	111	160	81	58	66	105	105	129	137	117	95	1302

STATIONS	Quintiles	AUTOMNE			HIVER			PRINTEMPS			ETE			Année
		S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	
LERIDA	—	ip	0,5	0	0,4	0,4	0	ip	0,8	6	5,7	ip	1,2	197
	1	7,1	8,5	9,2	11,7	1,6	3,8	13,9	9,1	19,6	13,4	1,8	5,3	285
	2	29,6	21,7	18	14,4	11	16	18,9	21,9	35,9	25,8	5,2	12	322
	3	33,5	30,3	26,7	25	23,2	22,9	28,2	27,9	42,6	41,4	12,3	26,6	364
	4	48,3	60	37,7	51,6	38,5	32,5	42,5	44,8	64,6	56,4	22,3	59,3	483
	5	111	141,8	105,3	86,1	99,8	49,9	78,5	311	103,8	152,4	78,7	83,1	611
	Me	32,2	25,5	20,7	18,9	19,7	20,1	22,4	24,6	38	37	9,1	23,5	354,5
	Mo	35,7	36,6	26,1	28,5	25,4	19,4	29	42,6	43,6	38,9	16,3	30,5	375
	—	0,9	2	ip	19	0	0	2,5	5,9	5	2,2	0	0	193,4
	1	5,9	9,5	8,1	8	7	5,8	10	16,1	21	27,6	8,4	3,1	291,9
CALAMOCHA	2	21,4	16,5	18,5	23,8	12,5	11	15	28	45,9	44,2	20	15,8	379,7
	3	50,3	36,9	22,7	33,4	22,2	21	29,8	39,6	60,3	56,1	35	31,5	415
	4	67,9	56,3	35	43	36,4	26,6	38	45,3	84	75,7	47,8	47	499
	5	108	136	96,8	100,9	47,7	58,3	72,8	114,9	137,7	128,5	79	79,6	567
	Me	34,7	30,6	20,6	29,5	17,8	17,1	23,8	32,6	55,9	47	30,8	21,9	404
	Mo	40,5	37,1	25,3	29,1	18,1	18,1	26	38,3	57	53,3	31	26,4	400,2
	—	0	0	0	0	0	0	0,5	0	3,6	8,9	0	0	204
	1	3,5	5,3	3,4	5,2	1	2,6	5,7	6,6	24,5	17	0	8	290
	2	22,5	23,9	12,5	19,8	13,5	9,9	13	16,2	31,4	30,4	10,5	13,4	336
	3	38	34	21	36,5	20,9	19,4	29,2	22,9	54,4	38,6	17,5	32,2	397
SANTOLEA	4	64,8	77,5	50,5	61	32,3	24,2	35,5	41,5	85,3	58	42	40,6	459
	5	135,4	163,1	133,7	122,9	64	49,4	72,3	136,2	164	123,1	14,9	76,2	676
	Me	30,9	29,7	16,5	29,3	18	16,9	20	20,1	49,2	36,2	16,6	29,1	355
	Mo	38,7	42,9	28,9	37,3	20,1	16,8	32,9	56,1	56,1	41,4	24,2	27	383

TABLEAU XIII : LES EXTREMES PLUVIOMETRIQUES MENSUELS ET ANNUELS A DIFFERENTES STATIONS DU BASSIN DE L'EBRE

STATIONS	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
REINOSA 1912- 1971	M	373,9 (1945)	281 (1956)	278,2 (1925)	225,5 (1930)	124,6 (1969)	177,7 (1937)	113,3 (1930)	84,7 (1934)	355 (1938)	307,5 (1966)	251,9 (1956)	433,3 (1917)
	m	10,1 (1944)	0,2 (1945)	5,1 (1948)	6,9 (1938)	19,1 (1953)	4,6 (1968)	1,9 (1962)	0,2 (1962)	4,1 (1914)	12,6 (1967)	8,8 (1953)	16,2 (1912)
AGONCILLO 1949- 1971	M	75,3 (1948)	59,4 (1966)	53,8 (1964)	136,6 (1969)	75,5 (1956)	88,7 (1951)	68,8 (1955)	64,4 (1968)	149,2 (1959)	91 (1952)	197,7 (1967)	95,9 (1950)
	m	3,5 (1964)	4,4 (1959)	0,5 (1953)	3,8 (1960)	3,9 (1953)	4,6 (1964)	0,1 (1957)	2,4 (1960)	4,3 (1970)	1,6 (1968)	5 (1969)	0 (1957)
ZARAGOZA 1859-71	M	63,6 (1869)	91,3 (1870)	111,2 (1954)	172,2 (1942)	169,6 (1946)	124 (1989)	154,6 (1923)	63,4 (1968)	153,9 (1921)	174,8 (1937)	146,4 (1967)	90,4 (1958)
	m	0 (1878)	0 (1878)	0 (1882)	ip (1962)	0,9 (1963)	0,3 (1923)	0 (1923)	0 (1923)	ip (1970)	1,6 (1954)	0 (1906)	0,9 (1873)
CANFRANC 1939-71	M	432 (1955)	294 (1957)	563 (1962)	319 (1966)	292 (1969)	238,5 (1957)	164,5 (1960)	275 (1963)	384 (1965)	446 (1966)	507 (1963)	422 (1965)
	m	17 (1944)	7 (1945)	7 (1944)	11,5 (1955)	19,6 (1967)	14 (1943)	7 (1951)	10 (1962)	10 (1970)	34 (1956)	62 (1956)	25 (1941)
PANTICOSA 1912-13 et 1931-71	M	420,4 (1955)	424,6 (1951)	352,6 (1958)	299 (1936)	328,2 (1951)	299 (1932)	184 (1963)	192,1 (1963)	262,8 (1965)	424,5 (1960)	566 (1965)	437 (1935)
	m	5,6 (1944)	1 (1945)	8 (1938)	9 (1955)	28 (1937)	11 (1931)	4 (1931)	11 (1961)	43,5 (1912)	29,9 (1956)	23,4 (1948)	22,5 (1956)

LA MOLINA 1929 - 34 et 1955 - 71	M	141,6 (1963)	173,5 (1959)	317 (1959)	221,3 (1959)	211,1 (1968)	257 (1955)	244,2 (1960)	198,6 (1968)	237 (1963)	305,7 (1960)	368,1 (1962)	394,8 (1932)	1792 (1959)
	m	4,8 (1932)	3,4 (1930)	7 (1961)	33 (1965)	38,7 (1959)	13,8 (1967)	17,8 (1933)	25,3 (1962)	18,6 (1968)	7,3 (1968)	62,7 (1980)	8,4 (1956)	752,6 (1981)
LERIDA 1881-71	M	98,9 (1941)	75 (1885)	78,5 (1965)	311 (1942)	208,8 (1921)	154 (1885)	107,1 (1932)	83,1 (1941)	111,6 (1951)	144,7 (1937)	105,3 (1967)	155 (1914)	611,2 (1943)
	m	0,2 (1934)	ip (1953)	ip (1966)	0,8 (1960)	3,1 (1928)	0,0 (1928)	0,0 (1881)	0,0 (1881)	0,8 (1957)	0,0 (1930)	0,0 (1967)	0,0 83-13 18-40	170 (1934)
CALAMUCHA 1942-71	M	47,5 (1955)	58,3 (1947)	67,6 (1959)	114,9 (1969)	137,4 (1944)	128,5 (1957)	73 (1952)	79,6 (1945)	108 (1959)	136 (1960)	96,8 (1968)	100,9 (1950)	564 (1959)
	m	0 (1944)	0 (1961)	2,5 (1953)	5,9 (1958)	5 (1953)	2,2 (1967)	0 (1957)	0 60-67	0,9 (1945)	2 (1950)	ip (1947)	1,9 (1966)	193,4 (1967)
SANTOLEA 1935-71	M	64 (1962)	49,4 (1959)	64 (1968)	136,2 (1942)	164 (1946)	123 (1957)	114 (1943)	76,2 (1951)	135,4 (1959)	163,1 (1957)	133 (1945)	122,9 (1964)	676 (1959)
	m	0 (1953)	0 (1958)	0,5 (1966)	1 (1970)	4,5 (1967)	8,9 (1961)	0 54-48	0 (1962)	0 (1965)	0 (1954)	0 47-8 64	0 67-48	204 (1961)
TORTOSA 1880-71	M	132,2 (1903)	246,4 (1881)	165,8 (1918)	240,2 (1969)	204,1 (1957)	171,8 (1885)	186,2 (1932)	108 (1926)	383,2 (1890)	382 (1937)	353,3 (1897)	243,8 (1953)	1041 (1884)
	m	0 (1902)	0 (1898)	0,9 (1891)	0,8 (1955)	2,5 (1906)	0,2 (1906)	0 (1903)	0 (1900)	0 (1896)	1,8 (1917)	0 (1882)	0 (1900)	259 (1931)

Maxima (M) et minima (m) mensuels absolus et date à laquelle ils ont été enregistrés.

A - LES INTENSITES JOURNALIERES -

1°/ Distribution des valeurs des précipitations journalières :

L'analyse de cette distribution peut se faire à partir des courbes de fréquences cumulées. Celles que nous avons réalisées ici pour sept de nos stations types à partir de 20 ans de référence (1949-68), sont des courbes de cumulation rétrograde traduites sur papier gaussien-logarithmique. Ces courbes se disposent en un faisceau assez complexe où l'on peut toutefois distinguer aux différents niveaux des tendances caractéristiques du milieu. C'est ainsi qu'à la hauteur de la fréquence 50 % c'est à dire la médiane, 3 groupes apparaissent : celui des stations de Reinoso, Saragosse et Tortosa, de valeur 2 à 2,2 ; c'est à dire que 50 % des pluies sont ici des pluies inférieures à 2 ou 2,2mm par jour. Au contraire, pour les stations de montagne, la valeur correspondante est de 5,6 pour La Molina, 8,1 pour Panticosa, 9 pour Canfranc. Entre ces deux extrêmes se tiennent les courbes de Calamocha et Santolea avec respectivement 3,2 et 5,5. Donc en milieu océanique et dans les régions de plaine y compris la zone méditerranéenne du delta, 50 % des pluies sont des pluies très fines. Au contraire en montagne, y compris Panticosa et Canfranc, pourtant très exposés aux influences océaniques, l'effet orographique qui exalte les ascendances prédispose aux fortes averses. A Calamocha et Santolea, localités situées respectivement à 920m et 583m, la diminution de l'effet orographique est en partie compensée par le régime pluviométrique local à prédominance de pluies orageuses, d'où la position moyenne

de ces stations. Il semble donc qu'au niveau de la médiane et mises à part les régions les plus continentales, ce soit la topographie qui joue le rôle principal.

Transportons-nous au niveau 10 %. Ici nous voyons les graphiques de Reinosa et Saragosse se recourber rapidement vers le bas, tandis que ceux de Tortosa, et La Molina, s'étirent vers les valeurs fortes.

Pluies de fréquence 10 %

Panticosa	32mm	Santolea	: 18mm
La Molina	28mm	Reinosa	16mm
Tortosa	20mm	Calamocha	13mm
		Saragosse	12mm

Les grosses intensités journalières, supérieures à 50mm par jour, ne se trouvent guère que dans deux milieux : la montagne pyrénéenne et la zone franchement méditerranéenne. Ailleurs, ces phénomènes sont exceptionnels. Quant aux abats d'eau supérieurs à 100mm, ils sont spécifiques de ces mêmes domaines. Ici en effet, l'orographie dans un cas, les forts contrastes thermiques dans l'autre provoquent de puissantes condensations responsables de ces intensités élevées.

Pour préciser cette étude, il convient de voir pour chaque milieu les variations des intensités journalières en fonction des saisons. Nous utiliserons pour cela la technique de décomposition du régime en apports d'intensité donnée mise au point par Ch. P. Peguy et J. Mounier (1968).

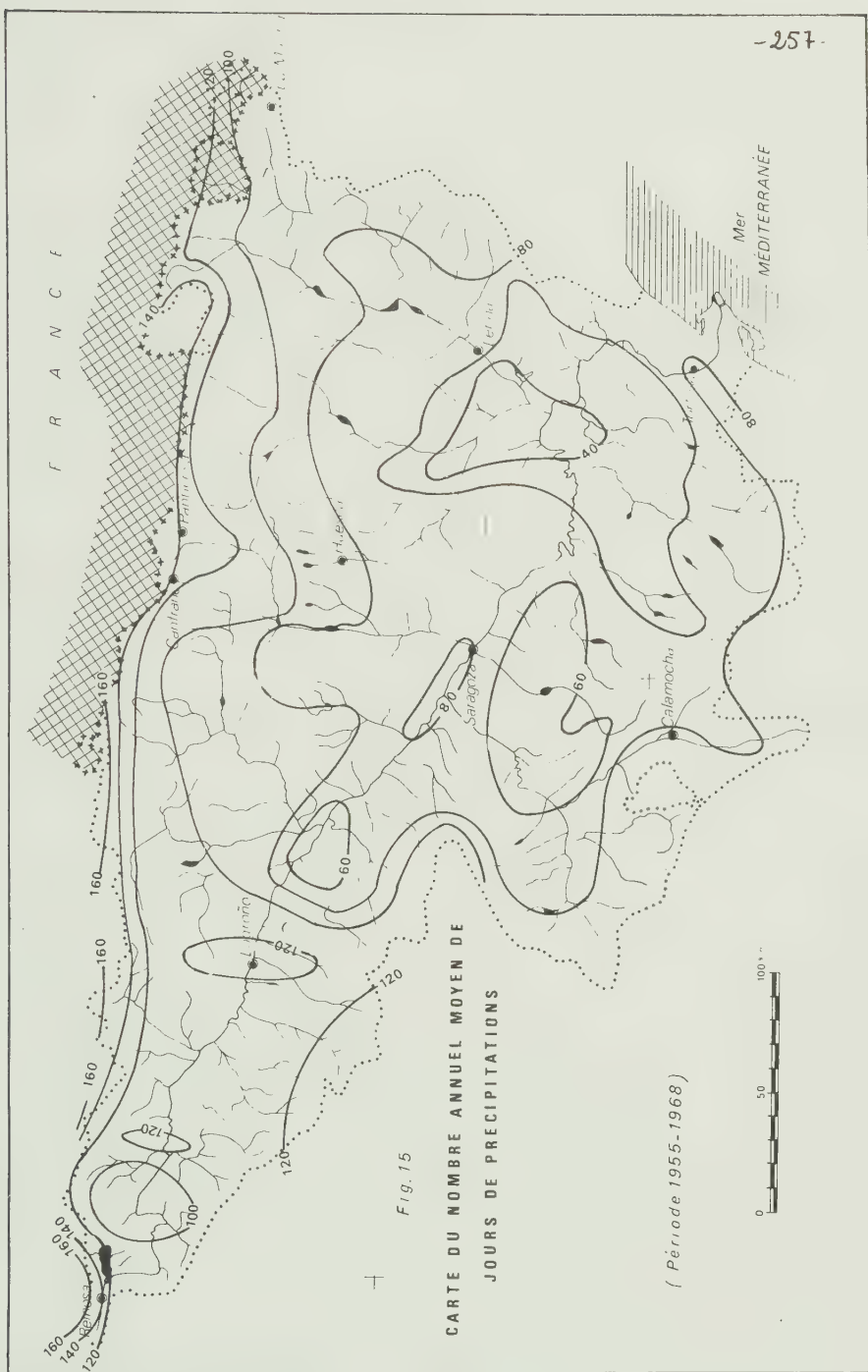
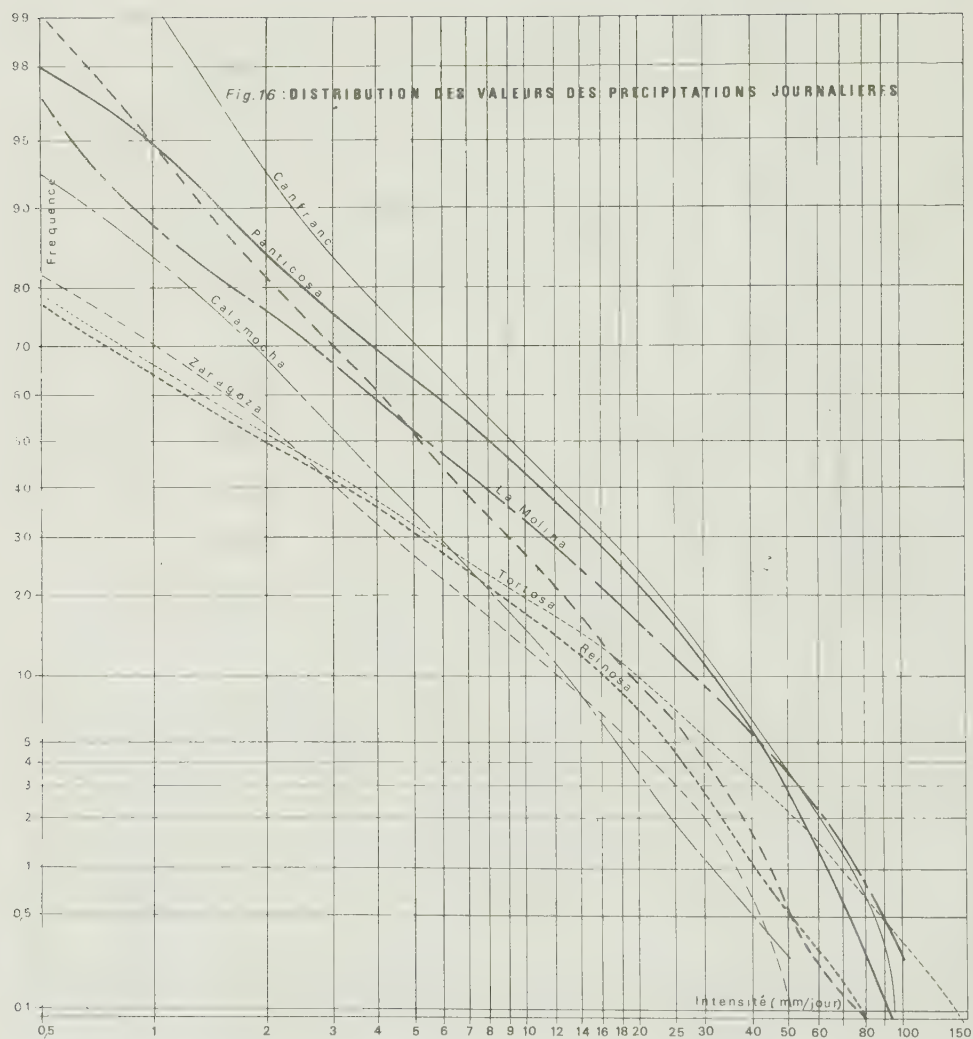


Fig. 15

CARTE DU NOMBRE ANNUEL MOYEN DE
JOURS DE PRECIPITATIONS

(Période 1955-1968)



2° / Décomposition du régime en apports d'intensité donnée :

Le but est de mettre en valeur la part des différentes intensités journalières dans le total mensuel. Nous avons donc repris nos dix stations type et pour chacune d'elles, et pour chacun des mois des 20 années de référence, nous avons calculé la lame d'eau totale apportée par les pluies supérieures à 100mm puis par celles de 50 à 100mm, puis de 20 à 50mm... Nous avons cumulé progressivement ces sommes, de sorte que la courbe enveloppe représente les apports mensuels totaux.

- Apport mensuel total des 20 années lu sur l'échelle de gauche.

- Apport mensuel moyen des 20 années lu sur l'échelle de droite.

Les graphiques obtenus permettent d'apprécier non seulement le rôle joué par chaque type de pluie dans le total mensuel, mais encore, la répartition de ces types de pluie tout au long de l'année.

La bande blanche qui coiffe le graphique représente la part, dans la lame d'eau, des pluies fines, de type crachin. C'est à l'amont du bassin à Reinos et Agoncillo que cette bande est la plus large, et pour l'ensemble des autres stations c'est en hiver et au printemps qu'elle prend généralement le plus d'importance, c'est à dire dans les secteurs et aux saisons où les contrastes thermiques sont les moins accusés. On remarque une fois de plus que Canfranc et surtout Panticosa ont dans ces intensités un très faible total.

Toutefois, ce ne sont pas les pluies fines qui diffè-

rençient le plus les régimes, mais bien plutôt la place tenue par les grosses averses. A cet égard nos dix stations peuvent être partagées en deux catégories. D'une part celle où la quasi totalité des apports mensuels est constituée par des pluies inférieures à 50mm par jour, c'est le cas de Reïnosa, des stations de la dépression centrale et du versant ibérique, où seules, quelques averses supérieures à 50mm apparaissent en mai-juin ou en automne, très rarement en plein été. Dans ces stations ce sont les tranches 10 à 20 et 20 à 50mm qui constituent dans une proportion à peu près égale l'essentiel de l'apport, avec prépondérance de l'une ou de l'autre selon les mois. C'est ainsi que la tranche inférieure - 10 à 20 mm

- l'emporte très nettement à Reïnosa en hiver, sauf en décembre où 75 % du total est constitué par des intensités inférieures à 10mm par jour. La tranche 20-50mm prédomine aux saisons intermédiaires en particulier à Santolea et Saragosse où les influences méditerranéennes sont encore efficaces.

Les fortes intensités journalières, supérieures à 50mm par jour prédominent on l'a vu d'une part sur les hauts reliefs, d'autre part dans le domaine méditerranéen pur mais avec une importance variable selon les saisons. A Tortosa, elles constituent 50% de l'apport mensuel de septembre. A La Molina, c'est en novembre que cette proportion est atteinte. A Canfranc et Panticosa où la tranche 20-50mm prédomine en toutes saisons les grosses intensités apparaissent au printemps et surtout en automne. On peut en déduire que les contrastes thermiques ont, sur les phénomènes de condensation, un effet plus puissant que la détente orographique. L'étude des très fortes averses nous mène d'ailleurs aux mêmes conclusions.

Fig 17: REGIMES PLUVIOMETRIQUES

DECOMPOSITION EN APPORTS D'INTENSITE DONNEE

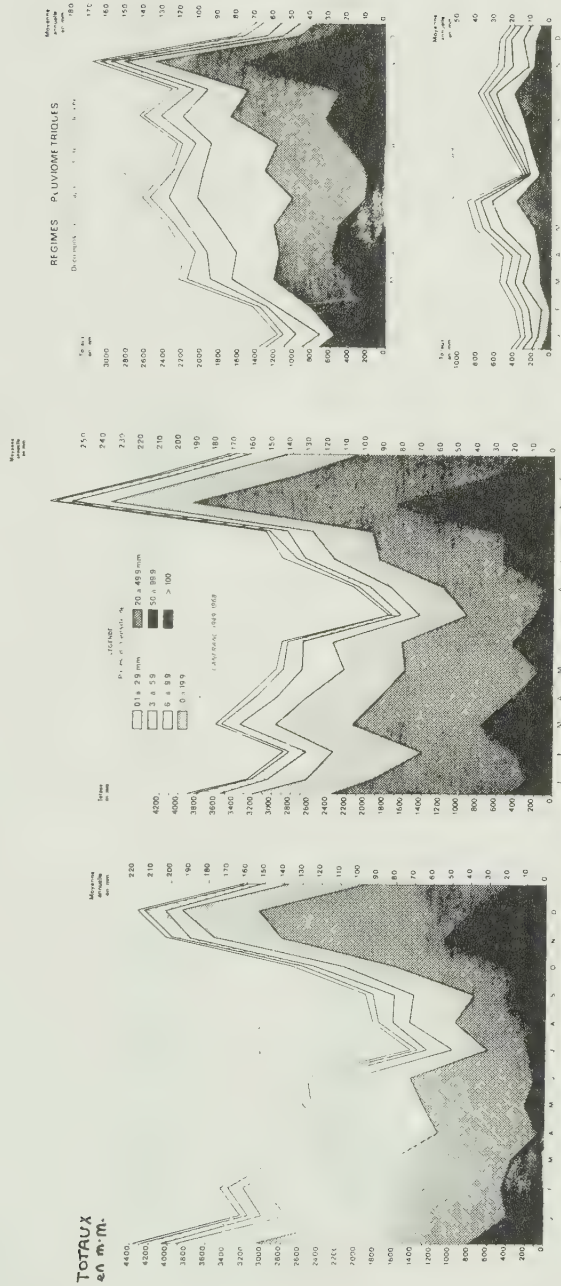
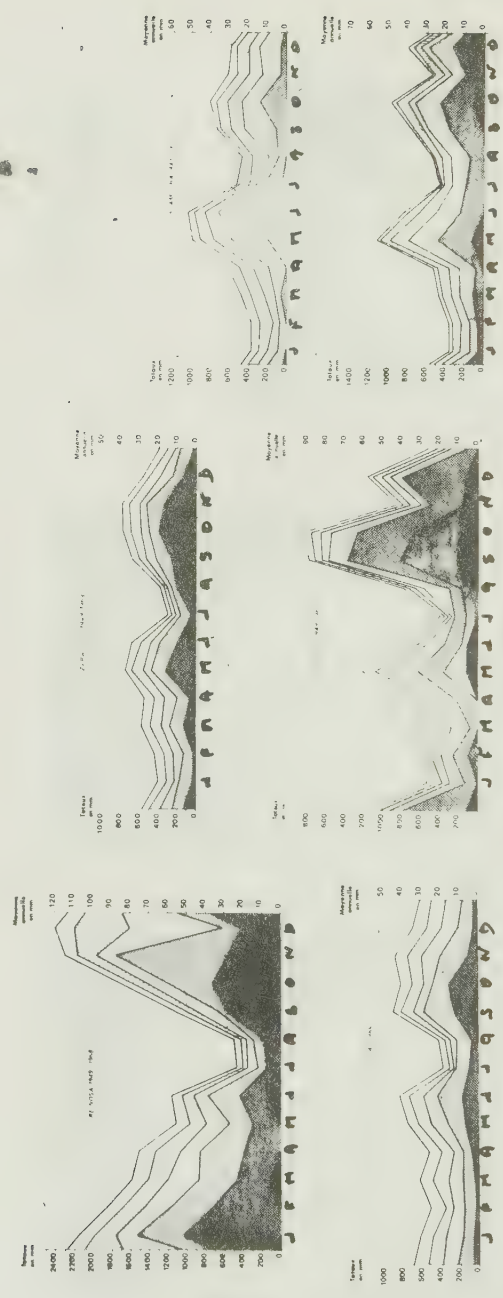


Fig 18: REGIMES PLUVIOMETRIQUES

DECOMPOSITION EN APPORTS D'INTENSITE DONNEE



PLUIES D'INTENSITE DONNEE

Ces très fortes averses ne se produisent pas n'importe où ni n'importe comment. On a déjà vu la localisation dans l'espace. Nos graphiques permettent maintenant de préciser que huit mois seulement ont été capables pendant les vingt ans étudiés d'enregistrer de pareils phénomènes : mars, avril, mai, juin, juillet, septembre, octobre, novembre; les mois les plus exposés étant novembre, puis septembre, octobre, et enfin juin. La grosse pluie de mars à Canfranc, celle d'avril à la Molina sont des faits exceptionnels. Par contre les orages estivaux, surtout lorsqu'ils sont envenimés par le passage de fronts froids, peuvent, comme à Canfranc, être responsables d'intensités particulièrement élevées. C'est dans ces conditions que les hautes vallées aragonaises ont enregistré leur plus terrible catastrophe en août 1963 et que Saragosse pourtant hors du domaine sujet à ce genre de phénomène a connu son maximum du siècle : 122mm en juillet 1923. Mais à notre connaissance aucune station du bassin n'a enregistré au moins au cours de ces vingt dernières années de précipitations journalières supérieures à 100mm durant les mois de décembre, janvier, février.

Cette étude nous a permis de préciser les régions et les saisons les plus sensibles aux très fortes averses, celles qui sont susceptibles de déclancher de subites et graves crues. Il s'agit des zones qui, en automne le plus souvent et secondairement au printemps reçoivent de plein fouet les flux méditerranéens de Sud-Est à Sud-Ouest. Très exceptionnellement les régions continentales généralement très mal pourvues peuvent connaître, au cours d'orages estivaux particulièrement violents des averses supérieures à 80 ou 100mm. Les régions océaniques se situent entre ces deux extrêmes et c'est aux saisons intermédiaires qu'elles ont le plus de chance d'essuyer des averses semblables.

Dans une étape suivante, nous allons essayer de préciser la valeur et la fréquence des pluies maximales.

B - LES PLUIES MAXIMALES -

Grâce à la présence d'une douzaine de pluviomètres enregistreurs, fonctionnant depuis une période assez longue, l'étude des averses commence à être possible dans le bassin de l'Ebre. Déjà, pour son travail sur les précipitations maximales en Espagne, F. Elias (1963) a dépouillé les bandes de pluviographes jusqu'en 1961 et donné d'intéressants renseignements sur les intensités maximales pour des périodes de 24, 12, 6, 2 et 1 heure et 30, 20 et 10 minutes. Nous avons complété ces séries jusqu'en 1971 pour les intensités maximales de 24 heures, et cherché à apporter quelque lumière sur les épisodes pluvieux de 2 à 8 jours les plus importants de ces vingt dernières années.

1°/ Pluies record enregistrées dans le bassin de l'Ebre :

On remarquera à la lecture du tableau XIV et de la figure 19 que, au bout de 8 jours les totaux tendent à s'égaliser entre monde océanique (213mm à Reinos) et le monde méditerranéen (259mm à Tortosa).

En effet, en milieu méditerranéen, si les averses journalières battent largement tous les records, les fortes pluies sont rarement prolongées. En milieu continental la capacité pluviométrique s'épuise rapidement : à peine plus de 100mm au bout de huit

TABLEAU XIV : PLUIES MAXIMALES (en mm) de 1,2,...8 jours consécutifs
(période 1948-1971)

SECTEUR	STATION	Nombre de jours							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Cantabrique	Reinosa	97,1	155	159	175	178	181	185	213
Dépression	Logroño	58,9	69	89	107	107	107	110	110
Centrale	Zaragoza	77,1	88	88	88	93,5	100	103	103
Méditerranéen	Tortosa	177	177	177	177	217,8	222,4	258,1	259,4
	Cherta	217	238	374	340	384	389	389	389
Pyrénéen	Cantabric	156	185	222	304	325	328	33	351
	Panticosa	178	221	252	268	308	312	337	340
	La Molina	162	199	270	356	370	378	380	380
Sous-Pyrénéen	Lerida	53,8	65	90	90	108	111	11	11
Ibérique	Calamocha	58	60	57	71	71	90	103	103
	Santolea	81	114	115	140	141	141	141	141

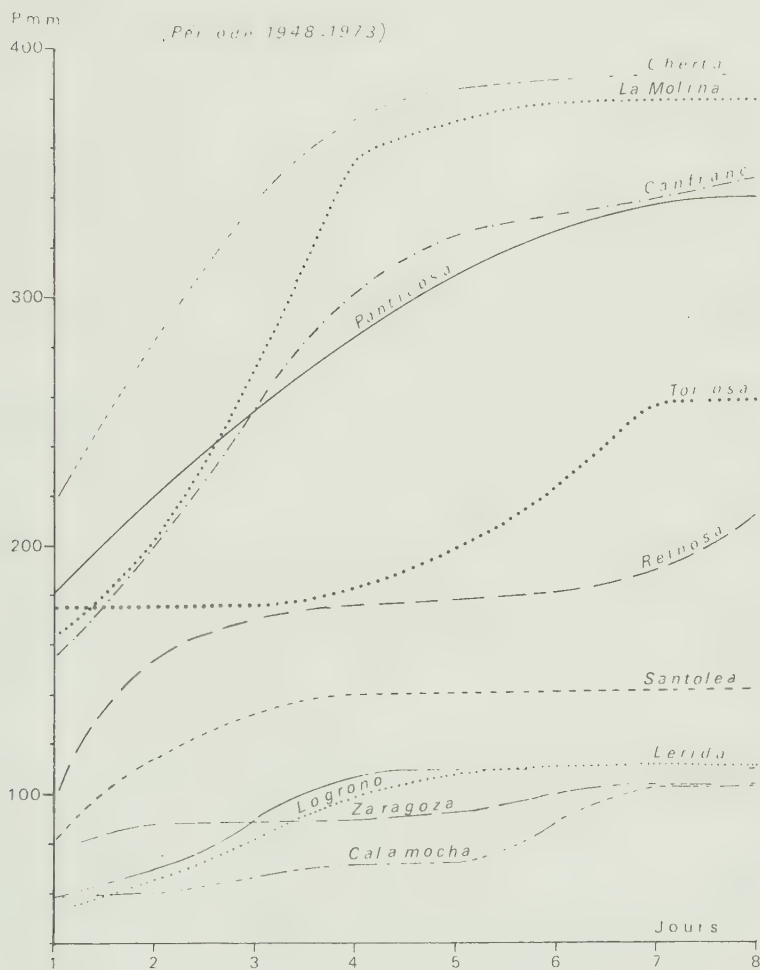
jours, alors que partout ailleurs, ce chiffre est facilement atteint en 24 ou 48 heures. Dans la montagne pyrénéenne, l'optimum pluviométrique est atteint au bout de 4 à 5 jours. Au-delà, la courbe s'aplatit traduisant une progression beaucoup plus lente du volume liquide.

TABLEAU XV : VALEURS MAXIMALES ABSOLUES DE PRECIPITATIONS
POUR DIVERSES DUREES DE REFERENCE

SECTEUR	STATION	Durée des épisodes pluvieux					Période de référence
		10mm	30mm	1 h	6 h	12 h	
Dépression Centrale	Logroño	14,3 sept 39	27,2 mai 50	27,7 mai 50	42 oct 61	42 oct 61	1937 - 1961
	Zaragoza	16,3 aout 60	28,5 mai 46	39,5 juil 41	59 juil 41	83,1 nov 45	1934 - 1961
Méditerranéen	Tortosa			46 oct- juin 60	166 sept 43	179,8 sept 43	1928 - 1961
Sous-Pyré- néen.	Huesca				86 sept 59	108,6 sept 59	1943-1961

(d'après F. Elías).

Fig.19: PLUIES MAXIMALES DE 1,2 8 JOURS CONSECUTIFS
A QUELQUES STATIONS DU BASSIN DE L'EBRE



Il faut ajouter à ces tableaux quelques records journaliers connus pour différents secteurs du bassin :

	Station	P (mm)	Date	Période de référence
<u>Vallée de</u> <u>L'Ebre</u>	Reinosa	101,4	Sept.38	(1927 - 71)
	Logrono	70	Oct. 61	(1937 - 71)
	Zaragoza	122,3	Juil.23	(1901 - 71)
	Flix	210	Nov. 66	(1942 - 71)
	Tortosa	209	Oct. 40	(1916 - 71)
<u>Massifs bas-</u> <u>ques et Pyrénées</u> <u>atlantiques</u>	Vitoria	92	Sept.49	(1947 - 71)
	Pamplona	107	Sept. ?	(1940 - 71)
	Canfranc	156	Nov. 70	(1947 - 71)
	Candanchu	140	Nov. 65	(1947 - 71)
<u>Pyrénées</u> <u>Centrales</u>	Panticosa	178	Nov. 65	(1947 - 71)
	Bielsa	160	Nov. 66	(1948 - 71)
	Benasque	182	"	"
<u>Pyrénées</u> <u>Orientales</u>	La Molina	162	Sept.65	"
	La Seo de U	107	Août. 70	"
<u>Zone sous-</u> <u>Pyrénéenne</u>	Huesca	129	"	"
	Lerida	53	Juin.52	"
<u>Versant</u> <u>Ibérique</u>	Calamocha	59	Août.45	"
	Santolea	114	"	"
	P ^{no} Pena	164	Oct.67	"

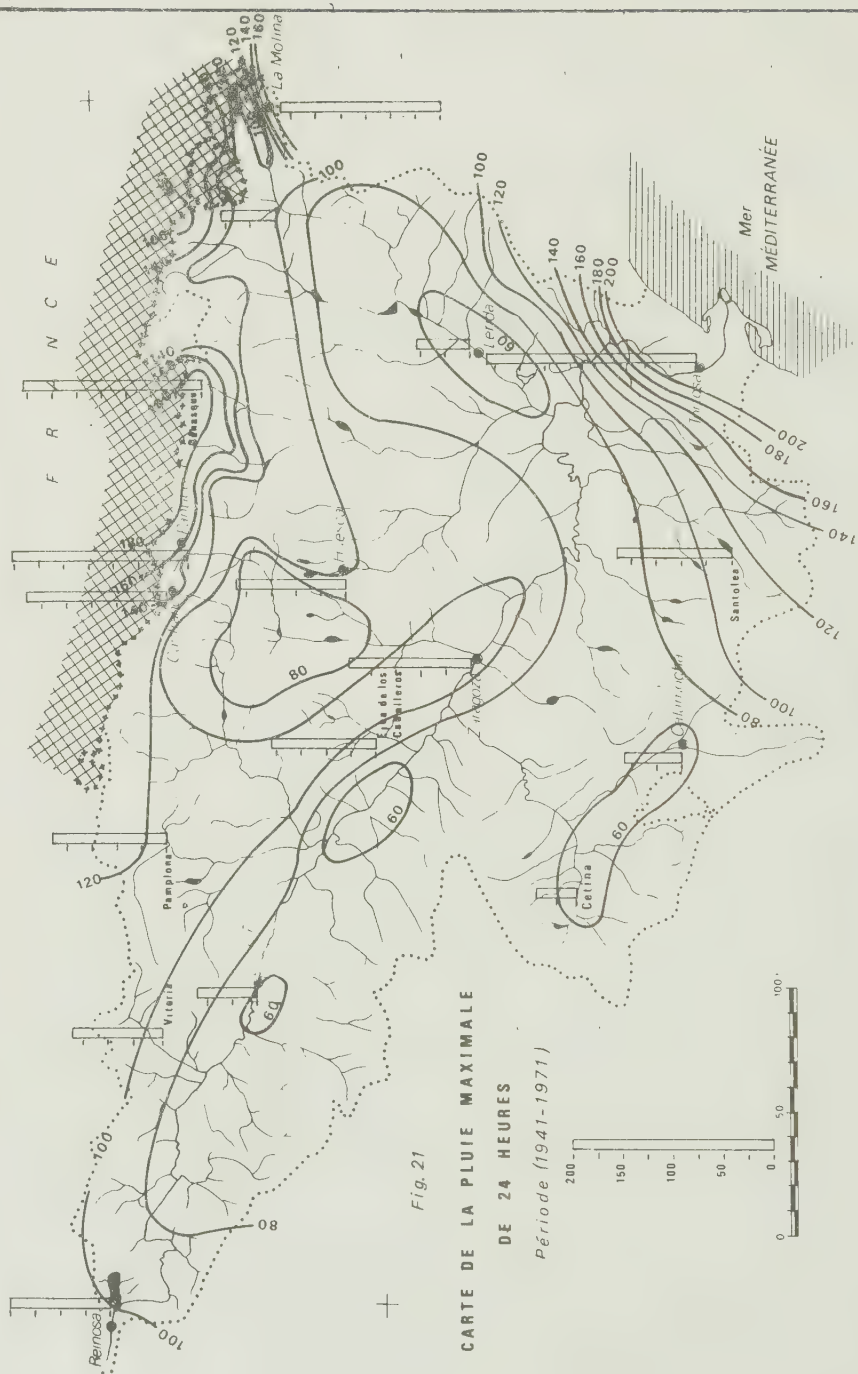


Fig. 21

CARTE DE LA PLUIE MAXIMALE
DE 24 HEURES
Période (1941-1971)

Mise à part la région qui va du Sègre au Jalon dont on a déjà souligné l'aridité, le revers des montagnes basques et cantabriques jusqu'à Logrono et la Rioja Alta, où la tendance à la subsidence des masses d'air, sous le vent des reliefs, interdit les fortes précipitations, toutes les autres régions sont capables de recevoir des averses torrentielles, dépassant 100mm en 24, voire en 12 heures. Il faut souligner que ce sont les régions de climat méditerranéen pur, et en particulier l'aire Flix, Tortosa, Delta, qui sont le plus exposées à ces cataractes, en raison de la fréquence des gouttes froides d'altitude dans ce secteur. Là seulement, on peut observer des chutes d'eau supérieures à 200mm en 24 heures ou 150mm en 12 heures, voire en 6 heures. Mais ces averses sont toujours très étroitement localisées dans l'espace et souvent aussi dans le temps. C'est pourquoi l'effet sur les grandes rivières est bref et peu spectaculaire. Par contre les ravins, les "ramblas" et "barrancos", généralement à sec, peuvent alors brusquement devenir fonctionnels et se transformer en torrents dévastateurs. Si ces régions de l'Ebre inférieur détiennent les records pour de courtes averses de 24 heures au maximum, il n'en est pas de même pour les épisodes pluvieux de plus longue durée. Ce sont alors les hautes vallées pyrénéennes qui prennent le relais, en particulier celle de l'Aragon (460mm à Candanchu du 2 au 6 novembre 1966 ; 741mm du 26 octobre au 9 novembre de cette même année !), celle de l'Esera (360mm à Benasque du 6 au 8 octobre 1966) et celle du Cinca. Ces vallées semblent plus affectées que celles du Gallego et surtout du Sègre. D'autre part, ces épisodes pluvieux intéressent toujours des secteurs beaucoup plus étendus que les déluges méditerranéens.

néens. L'effet hydrologique est donc beaucoup plus puissant et plus durable, d'autant que ces phénomènes sont des phénomènes de saison froide, alors que dans le cas précédent, c'est presque toujours à la fin de l'été que se produisent ces paroxysmes.

Toutefois, comparées à celles des autres régions méditerranéennes, ces pluies n'ont rien d'exceptionnel.

Dans le bassin du Guadalquivir, on a enregistré 195mm en 24 heures à Presa Cacin. Sur les bassins des petits fleuves côtiers catalans, des intensités journalières supérieures à 200mm sont chose relativement courante en automne.

Sur la façade sud du monde méditerranéen nous trouvons des chiffres semblables : 264mm dans une localité du N Tunisien, en septembre 69, sans doute 200mm pour quelques stations des petits bassins du Rif lors de la crue de décembre 1956.

Pour de plus courtes averses on a obtenu 115mm en 5h30 le 30 octobre 1955 dans le bassin de l'Oum-er-Rbia, 132mm en 13heures à Mascara en Algérie, 206mm en 14 heures à Kalaa Skira (Tunisie) en octobre 1969.

Tout ceci, quoique déjà assez spectaculaire est bien loin des valeurs affichées par les bassins des Cévennes, de la montagne Noire où des Pyrénées Orientales. Citons à titre de comparaison quelques records journaliers enregistrés dans ces secteurs : 375mm le 7 décembre 1953 près de St Chinian sur l'Orb, et surtout 792mm le 9 octobre 1927 à Joyeuse (Ardèche), chiffre qui n'a d'équivalent que les trombes d'eau de l'Asie des moussons ou les fameux "cloudburst" du Texas. Les intensités horaires ou les averses de quelques heures sont, dans ces régions tout aussi spectaculaires : on a recueilli 100mm d'eau à Canaules (bassin du Vidourle) le 4 octobre 1958 entre 10 et 11 heures, tandis que lors de la crue cévenole d'octobre 1933, Salindres recevait 335mm en 6 heures et Alès 236mm en 3 heures ! Nous sommes loin de ces records dans le bassin de l'Ebre, et nous devons en conclure à une relative modération des pluies maximales, au moins en dehors de la zone très limitée du delta et de ses abords immédiats.

2°/ Fréquence des pluies maximales de 24 heures :

Connaître des faits qui se sont produits dans le passé est sans doute de tout premier intérêt, mais pour l'hydraulicien qui pose des égouts dans une ville, des drains sous une route, les collections de faits doivent avant tout permettre de prévoir l'avenir, en particulier de déterminer quelle est la période moyenne de retour de tel ou tel événement extraordinaire. On recherchera par exemple quelle est la périodicité d'une pluie de 100mm ou 150 mm, ou bien quelle valeur maximale d'averse on a des chances d'enregistrer tous les 5, 10, 20 ans. En 1934, Gumbel imaginait une loi s'appliquant à ces faits extraordinaires. Il s'agit d'une loi de distribution statistique de la série de n. valeurs extrêmes, extraites d'une série de S. observations. Ici par exemple, il s'agit la plupart du temps d'au moins 25 pluies journalières maximales extraites de 365 x 25 jours d'observation. Cette loi correspond à une fonction de répartition de la forme :

$$Fy = e^{-e^{-y}}$$

où "y" est la variable réduite liée à la probabilité attachée à la pluie maximale X, "e" la base des logarithmes népériens. Les fréquences théoriques peuvent être calculées facilement à partir de deux paramètres de la série des valeurs maximales : la moyenne et l'écart type.

F. Elias utilise pour ce calcul, les formules données par Show. Comme nous continuons ici son travail, nous le suivons dans cette voie, afin de ne pas nuire à l'homogénéité des résultats. D'autre part, ces formules permettent un calcul rapide tout en

évitant les simplifications que l'on adopte généralement et qui sont valables seulement pour de longues séries. Ces formules sont les suivantes :

$$(1) \quad X_t = \bar{X} + K$$

$$(2) \quad K = (y - \bar{y}_n) / S_n$$

(1) X_t est la valeur pour une période de retour T

$\bar{X}$ est la moyenne des valeurs maximales.

σ est l'écart type.

n est le nombre de valeurs extrêmes de la série

y, $\bar{y}_n$, S_n , sont la variable réduite, la moyenne et l'écart type de cette variable.

Dans la pratique, les valeurs de $\bar{y}_n$, y et S_n , sont données par des tables.

Exemple de calcul :

Nous prendrons l'exemple de Tortosa, station pour laquelle nous disposons de 32 années de pluies journalières (1939-1970) qui nous ont donné une série de 32 pluies maximales.

de moyenne $\bar{X} = 86,5$

et d'écart type $\sigma = 39,9$

Nous voulons connaître la valeur de la pluie maximale pour des périodes de retour de 5, 10, 25, 50 ans.

Les valeurs de y et S_n pour n = 32 sont les suivantes :

$\bar{y}_n = 0,5380$

$S_n = 1,1193$

D'autre part, pour $T = 5$	$y = 1,4999$
$T = 10$	$y = 2,2504$
$T = 25$	$y = 3,1986$

En remplaçant dans les équations (1) et (2) les lettres par leur valeur, nous obtenons :

X_5	=	120,7
X_{10}	=	148
X_{25}	=	180

Il est possible de représenter graphiquement cette loi de Gumbel grâce à un papier à probabilités extrêmes. On opère alors de façon suivante :

1 - On classe les pluies par ordre de grandeur croissante en attribuant à chacune d'elles un rang, de 1 à n.

2 - On calcule les probabilités expérimentales $\frac{m}{m-1}$ de chaque pluie.

3 - Sur un graphique à probabilité extrême on porte chacune des probabilités expérimentales sur l'échelle horizontale, les valeurs correspondantes de la variable sur l'échelle verticale. Si les points s'alignent de façon satisfaisante, la loi de Gumbel s'applique bien au cas considéré. Pour tracer la droite, d'ajustement, il suffit de calculer deux points par la méthode indiquée ci-dessus.

4 - Les valeurs non calculées peuvent alors se lire directement sur le graphique. En dernière analyse, il suffit de déterminer deux points par le calcul : X_5 et X_{10} par exemple, de tracer la droite joignant ces deux points et les valeurs de X_{10} , X_{20} , X_n se trouvent ensuite par simple lecture du graphique. C'est ainsi que

TABLEAU XVI : PLUIES MAXIMALES ANNUELLES DE 24 HEURES :
POUR UNE PERIODE DE RETOUR DE X ANNEES

SECTEUR	STATIONS	n	Période	M	σ	X_5	X_{10}	X_{20}	X_{25}	X_{50}
VASCO- CATALABRIQUE	REINOSA	50	1912-1961	56,1	16,8	70	81	92	95	105
	VICTORIA	24	1947-1970	41,8	15,7	55,8	66,5	76	80	90,5
DEPRESSION CENTRALE	LOGRONO	51	1911-1961	29,9	8,3	37	42	48	49	54
	TARAGONA	56	1906-1961	40,9	21,7	59	73	86	90	104
MEDITERRANEE	TORTOSA	32	1939-1970	86,5	39,9	120	148	172	180	206
PYRENEES ATLANTIQUES	CANFRANC	22	1949-1970	83,5	25,4	106	123	140	146	163
PYRENEES , CENTRALES	PANTICOSA	24	1947-1970	72,9	27,0	97	116	134	140	157
	BENASQUE	27	1944-1970	73,7	29,6	99,7	120	138,5	145	164,3
PYRENEES ORIENTALES	LA MOLINA	14	1955-1970	90,5	33,0	122	147	170	187	200
	PUIGCERDA	26	1940-1970	39,1	17,9	54,9	67	78,5	82	94,1
SOUS- PYRENEEN	HUESCA	25	1943-1970	47,3	18,8	63,9	76	89	92	105,3
	LERIDA	23	1948-1970	35,7	8,7	43	49	55	57	63
IBERIQUE	CALAMOCHA	30	1942-1971	35,3	11,1	45	52	59	61	69
	SANTOLEA	32	1939-1970	44,4	18,8	61	73	86	95	101

- n : nombre d'années étudiées

- M : Moyenne des pluies maximales

- σ : écart type

- X_5, X_{10}, X_n : valeur (en mm) de la pluie pour une période de retour de 5,10,n années.

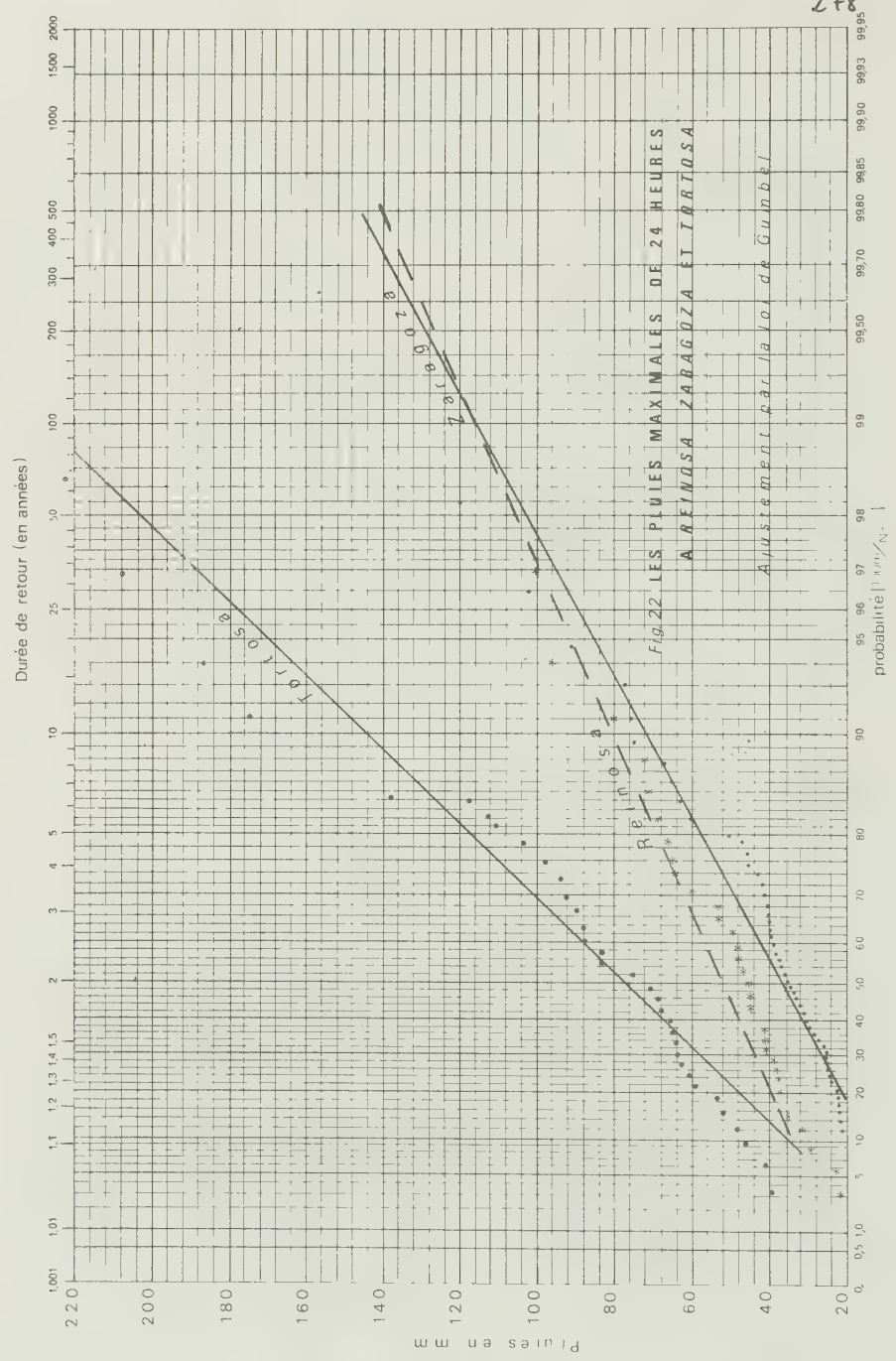
nous avons procédé pour les stations dont nous donnons le détail dans le tableau XVI.

Des calculs semblables réalisés à 80 stations environ du bassin de l'Ebre, ont permis à F. Elias de dresser diverses cartes de précipitations maximales annuelles sur le bassin de l'Ebre. L'étude porte essentiellement sur la période 1940-1960 qui compte une série très sèche dans les années quarante, en particulier 1947-1948-1949, alors que la décennie suivante est beaucoup plus humide. Nous avons donc repris cette carte des précipitations maximales en 24 heures en la modifiant localement pour tenir compte des résultats légèrement différents que nous avons obtenus en nous basant sur une série plus longue, et en la complétant au niveau du haut Aragon et du haut Gallego où se trouvait une lacune (fig. X. HT).

La carte ainsi obtenue confirme et précise ce que l'examen des seuls maxima absolus faisait prévoir, à savoir l'existence de deux régions particulièrement exposées :

- Le versant méditerranéen, du Maetzrazgo à la Segarra où la pluie décennale dépasse partout 100mm pour atteindre son maximum dans le delta et la région de Tortosa où sont battus tous les records du bassin, avec $X_{10} = 150\text{mm}$. Pour une période de retour de 50 ans on atteindrait des valeurs voisines de 210mm, et pour 100 ans on atteint 250mm.

- Le versant pyrénéen, de l'Esera aux montagnes du système vasco-navarrais : Sierra de Urbassa, de Andia, del Perdon, vers lesquelles s'incline la courbe de 100mm. La Sierra de la Peña constitue au sud de la "Canal de Berdun" une petite annexe de ce domaine.



L'isohyète 70mm délimite les zones peu affectées par les grosses pluies. Ce sont celles que nous avons déjà eu l'occasion d'évoquer : la vallée moyenne de l'Ebre, de Miranda à l'entrée des gorges de Caspe, l'axe Sàgre-Jalón, enfin tout le versant nord du Système Ibérique. On remarque donc une dissymétrie très nette entre la moitié nord du bassin, sujette aux grosses averses et par conséquent aux crues, et la moitié sud où ces phénomènes sont rarissimes

3°/ Date des précipitations maximales :

Comme on a déjà eu l'occasion de le souligner, les précipitations maximales ne se produisent pas toujours aux cours des mois de plus forte pluviosité. Il existe parfois des discordances entre moyenne mensuelle, quintile supérieur et pluies maximales (maximum absolu de 24 heures et moyenne mensuelle des maxima de 24 heures). Le tableau ci-dessous va nous permettre de préciser ces discordances à nos 10 Stations de référence.

Nous retrouvons ici certaines conclusions déjà tirées de l'examen des graphiques d'apport d'intensité donnée, à savoir :

- L'extrême rareté des phénomènes paroxysmaux en hiver, même pour les stations qui ont alors leur maximum mensuel. La zone cantabrique avec ses possibilités de maximum hivernal constitue vraiment une exception.

- La quasi totalité des pluies maximales se situe entre le 1er mai et le 30 novembre et plus précisément :

TABEAU XVII : DATE DES PLUIES MAXIMALES SUR LE BASSIN
DE L'EBRE

Station	plus forte moyenne mensuelle.	Quintile mensuel supérieur	Maxima absolu de 24h	Moyenne mensuelle max des max de 24 h	plus grande fréquence des max de 24 h
Reinosa	Déc	Janv	Nov-Sept	Nov	Mai - Juin - Déc
Agoncillo	Sept	Juin	Sept	Sept	Mai
Zaragoza	Mai	Oct	Juil	Oct	Oct
Canfranc	Nov	Nov	Nov	Nov	Nov
Panticosa	Déc	Nov	Nov	Nov	Nov
La Molina	Nov	Sept	Sept	Nov	Nov
Lerida	Mai	Mai	Juin	Juin	Mai
Calamocha	Mai	Juin	Août	Juin	Juin
Santolea	Mai	Oct	Mai	Mai	Mai
Tortosa	Sept	Oct	Oct	Oct	Sept

- En novembre sur la montagne pyrénéenne où il n'y a de concordance entre tous les phénomènes que pour Canfranc. A Panticosa le maximum mensuel de décembre rappelle l'importance de l'influence océanique tandis que la mise en vedette du mois de sep-

tembre à La Molina, souligne l'appartenance méditerranéenne de ce secteur de la chaîne.

- La diagonale qui va du bassin de Lérida au Jalon n'enregistre guère de grosses averses qu'en saison chaude. Tous les maxima se concentrent sur les deux mois de mai et juin, sauf dans les secteurs les plus continentaux où c'est le mois d'août qui détient le maximum absolu.

- On retrouve cette prédominance estivale dans tous les bassins fermés de la haute montagne : Cerdagne, haut Esera en particulier.

- Sur la façade méditerranéenne, on passe à des averses nettement centrées sur septembre, octobre tandis que,

- sur le haut bassin, les pluies maximales se dispersent tout au long de l'année au point de rendre tout effort de classification particulièrement difficile, en particulier immédiatement à l'aval de ce secteur cantabrique dont a déjà dégagé l'originalité.

Là, depuis Vitoria au Nord, dans le bassin du Zadorra, jusqu'au Système Ibérique au Sud, les phénomènes paroxysmaux s'égrennent au long de l'année, avec toutefois une tendance à se concentrer sur juin-juillet et septembre-octobre.

Dans l'ensemble les mois les plus sensibles aux grosses averses sont ceux de mai-juin pour les régions les plus continentales, novembre pour la montagne pyrénéenne, septembre pour les pays franchement méditerranéens. Mais le maximum maximorum ne tombe pas toujours à l'époque de plus grande fréquence des maxima. Dans

les régions à sensibilité automnale (novembre en général), il a tendance à se placer en tout début de saison. Dans les régions les plus continentalisées, ce sont les mois de plein été, juillet, août qui ont enregistré les plus fortes averses connues.

On peut imaginer dès à présent que les grosses averses de plein été à fin été, très localisées dans l'espace et dans le temps, ont un effet hydrologique bien différent des lourds abats d'eau survenant au début d'une période pluvieuse, alors que le sol a pu être déjà en partie saturé, et qu'une température plus fraîche commande une évaporation moins avide. Dans le premier cas, on va assister à un phénomène de type véritablement africain. Dans le deuxième cas, ce sont les processus méditerranéens qui vont l'emporter. Enfin les épisodes plus longs de grosses pluies hivernales sur le haut bassin relèvent d'un régime franchement océanique. On imagine la complexité de l'hydrologie et la variété des types de crue.

TABLEAU XVIII : PLUIES MAXIMALES DE 24 HEURES

STATIONS		AUTOMNE			HIVER			PRINTEMPS			ETE			ANNEE
		S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	
REINOSA	m	21,4	24,3	31,9	27,7	25,9	22,1	22,4	18,8	18,1	22	14,5	14,2	97,1
	Ma	46	63,5	97,1	81,4	49,3	38,3	68,7	32,8	35,5	67,8	54,2	49,1	
AGON-CILLO	m	16,8	15,3	12,6	12,7	10,2	8,3	10,8	11,5	13,8	15,9	9,9	11,1	58,9
	Ma	58,9	40,9	37,9	31,1	10,9	21,5	20,1	4,5	35,8	37,8	45,3	30	
ZARAGOZA	m	9,4	7,8	14,2	11,4	16,7	14,2	9	11,4	14	17,8	15,1	2,1	77,1
	Ma	35,7	16,2	77,1	33,7	42,7	41	25,9	39	33	48,5	67,8	40,1	
CANFRANC	m	43,1	41,7	65,1	42,9	37,5	32,9	43,3	37,5	34,6	37,6	27,4	29,4	156
	Ma	93	105	156	77	105	96	20	98	68	70	109	59	
PANTICO-SA	m	35,3	34,5	54	47,9	38,5	38,6	36,9	27,3	32	34,8	25,7	31,5	178
	Ma	77,6	58	178	89	72	93,4	71	51,2	55	62,6	59	54	
LA MOLINA	m	50	33,8	64,2	27,5	28,4	25,8	30,9	41,4	38,1	29,5	32,4	35,5	162
	Ma	162	82	149	94	64	60	70,8	114	76,6	63	68	73,4	
LERIDA	m	18,9	19,9	10,9	13,6	7,1	8,7	14,5	12,8	17,5	20,4	10,3	14,8	53,8
	Ma	44,1	46,6	19,9	33,8	24,1	18,2	31,4	44,2	32,4	53,8	43	51	
CALAMO-CHA	m	12,6	17,2	9,7	11,3	8	7,1	9,2	11,3	17	22	17,5	10,8	58
	Ma	28	49,1	23,5	43,2	16,3	20	32,6	29,1	38,7	58	53	30	
SANTO-LEA	m	18,5	21,1	11,7	17,7	10,7	9	11,5	13,2	24,8	17,7	13,6	11	81
	Ma	46,2	62	36,7	43	53,5	32,5	46	46	81	46,5	42	31,7	
TORTOSA	m	35,1	43	19,8	23,1	13,4	15,3	14,1	16,8	33,6	21,9	14,1	20,7	177
	Ma	112,8	177	93,4	60	35,2	99,8	41,9	66,8	119,4	114,3	61	59,1	

Maxima journaliers moyens et absolus (période 1948-1970) pour chacun des mois de l'année.

- m : moyenne des maxima de 24 h.

- Ma : maximum absolu.

C H A P I T R E I I I

FACTEURS DE MODIFICATION DE L'APPORT FLUVIAL

SECTION I - LA RETENTION NIVALE ET GLACIAIRE -

A - LA NEIGE -

L'imprécision des données nivométriques, leur caractère très discontinu, rend cette étude particulièrement délicate, et les conclusions que nous pouvons donner ici n'ont qu'une valeur d'approche. Nous avons compulsé les données journalières de plus de 350 stations comportant des séries de 5 à 15 ans. Cette documentation présente trois défauts majeurs :

- En matière de neige, plus encore que de pluie, une série de 5 ans, est bien trop insuffisante, surtout en moyenne montagne.

- Les données relatives à la neige, trouvées sur les fiches mensuelles ne sont pas toujours dignes de confiance. Il faut faire preuve de beaucoup d'esprit critique, d'une bonne connaissance du milieu, et opérer des recoupements avec des études de détail,

pour arriver à faire le tri entre ce qui est utilisable et ce qui ne l'est pas.

- Enfin sur ces 350 stations un quart à peine intéresse les régions où la neige est susceptible de jouer un rôle hydrologique, tandis que nous manquons très sérieusement de données sur la haute montagne.

Il faut enfin ajouter que les fiches climatologiques ne donnent guère de renseignements suivis que sur le nombre de jours de neige. Or en hydrologie, la durée du manteau neigeux est un facteur de tout premier ordre.

En conséquence, pour tenter une étude de ce phénomène et réaliser la carte correspondante nous avons dû procéder à de très larges extrapolations.

Il est très peu de régions qui ne voient pas apparaître la neige au moins un jour par an en moyenne. Seuls l'axe bas Guadalupe, Sègre moyen et l'ensemble Somontano de Huesca, Litera, se tiennent au-dessous de ce chiffre. Ailleurs, jusqu'au voisinage de 600 ou 800 mètres selon les secteurs, un peu plus bas à l'Ouest, un peu plus haut à l'Est, le nombre de jours de neige ne dépasse pas 10 par an et cette neige, ne tenant généralement pas au sol, ne joue pratiquement aucun rôle, sauf en année exceptionnelle. Ce n'est donc que sur les bordures montagneuses que l'écoulement peut-être plus ou moins profondément perturbé par la rétention nivale.

1°/ Un rôle discret sur le versant ibérique :

Le Système Ibérique d'altitude modeste, et de plus

assez peu arrosé, ne jouit pas d'un enneigement notable. La seule région susceptible d'être affectée efficacement par ce phénomène est celle qui va de la Demanda au Moncayo. Là, le nombre de jours de neige s'élève annuellement à 20-25, et sans doute 30 dans les secteurs les plus élevés. Au-dessus de 1000m cette neige doit tenir environ 30 jours par an en moyenne, davantage aux approches des sommets qui ici dépassent souvent 2000m. Au-delà, vers le Sud Est, la Sierra de Gudar et la région de Gaillocanta n'enregistrent plus que 15 jours de précipitation neigeuse par an. Il est vrai que, d'une façon générale, les précipitations sont ici particulièrement réduites, surtout en cette saison où l'anticyclone de la meseta exerce une protection efficace.

2°/ Un enneigement capricieux en milieu cantabrique et
des incidences variables sur l'hydrologie :

La région cantabrique avec ses altitudes supérieures à 1000m, constitue un autre secteur, susceptible de connaître un enneigement appréciable. La station de Reinosa par exemple à 850m d'altitude voit tomber les flocons 34 jours par an en moyenne. Les premières chutes peuvent se produire dès octobre, mais c'est un fait assez rare, observé seulement quatre fois en 20 ans. C'est en novembre que la neige fait le plus souvent son apparition pour devenir de plus en plus fréquente tandis qu'on s'enfonce dans l'hiver. En décembre, plus de 1/3 des précipitations se fait sous forme de neige ; en janvier : 43 %. Le maximum est alors atteint. Les précipitations neigeuses diminuent très légèrement en février puis plus rapidement à partir de mars. Mais exceptionnellement, on peut

TABLEAU XIX : PRECIPITATIONS NEIGEUSES ET COUVERTURE DE NEIGE A DIVERSES STATIONS DU BASSIN DE L'EBRE.

STATIONS	Altitude	Nb de jours	S	C	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Année
REYNOSA	850	+		0,7	2,7	6,2	<u>7,5</u>	7,1	4,8	4,0	0,5	0,1			33,6
		■		0,1	1,4	6,8	9,2	9,5	5,9	1,5	0,1				34,5
		Ma ■		1	14	25	3	29	17	5					55
BAJAURI BUSTURIA	1050	+		0,4	2,1	<u>5,1</u>	4,9	<u>5,5</u>	3,7	2,8	2,1				26,6
		Ma ■			6	<u>16</u>	14	15	10	2					45
FANTICOSA	1636	+		2,3	6	<u>9,6</u>	8,5	2	8	4,4	1,1				50
		Ma ■		3	25	<u>31</u>	31	29	31	13					
CGI DE RONAIGUA	1072	+		0,4	4,6	8,6	<u>11,8</u>	10,7	9,3	<u>10,1</u>	12	3,3	1,5	0,1	72,4
		Ma ■		6	7	30	<u>31</u>	31	29	<u>31</u>	30	25	4		
RESTANCA	1975	+		0,2	3,4	8,1	11,7	10,3	9,1	9,7	10,3	2,4	0,9		66,1
LA MOI- NA	1711	+		0,1	2	4,8	<u>8,4</u>	6	6,8	<u>7,9</u>	5,1	1,4			48
		■		0,1	1,7	7,6	27	30,5	27,8	27,9	15,2	1			140
		Ma ■		1	10	17	31	31	29	31	30	5			
SOLDEU RANSOL	1825	+		1,5	8	<u>10</u>	7	8,8	<u>10</u>	8,8	3,3	0,1			57
ENGOLAS- TERS	1640	+		0,1	1,3	<u>4,1</u>	<u>9,1</u>	8,2	<u>9,1</u>	4,8	2,8	0,9			40,4
SALLIA- GOUSE	1305	+		0,5	<u>1,9</u>	4	3,7	<u>5,2</u>	2,6	1,6	0,6				20,1

+ : | nombre de jours de précipitations neigeuses |

■ : | nombre de jours de neige au sol |

Ma ■ : | maximum d'enneigement au sol observé. |

voir apparaître la neige jusqu'en juin. Deux fois durant les 20 années sur lesquelles porte notre étude, les habitants de Reinosa ont pu voir tomber la neige au cours de ce mois. Dans l'ensemble, la courbe des variations mensuelles des précipitations neigeuses est parallèle à celle de la pluie. A noter toutefois la tendance à un décalage du maximum vers la droite, vers le coeur de janvier alors que le maximum des précipitations est à cheval sur décembre-janvier. Ce décalage s'explique évidemment par des raisons thermiques.

Or cette neige se comporte sur le sol de façon très différente selon le régime dynamique qui domine et les masses d'air qui intéressent la région. En moyenne, elle tient sur le sol 44 jours par an, mais pas forcément consécutifs et surtout il existe de très grandes différences d'une année à l'autre. Ainsi en 1959 et 1966, elle n'a recouvert le sol que 2 jours seulement, tandis qu'en 1953 et 1954, années très neigeuses, elle a tenu respectivement 77 et 72 jours, du 30 décembre 1952 au 17 mars 1953 et du 1er janvier 1954 au 10 mars de cette même année.

Dans ces conditions, le rôle hydrologique est évidemment très variable. Certaines années, on assiste à une véritable rétention nivale capable de retarder les hautes eaux de 1, 2, et jusqu'à 2 mois et demi. Mais aussi très fréquemment, la couverture fond au coeur même de l'hiver car les précipitations solides sont souvent encadrées d'épisodes pluvieux qui les liquéfient aussitôt, d'autant plus facilement que, étant donné les conditions thermiques, il s'agit d'une neige plus molle, plus lourde, et d'une plus grande teneur en eau que dans la haute montagne. Généralement le processus est le suivant : à l'occasion d'un épisode de Nord à Nord Ouest, il

neige sur Reinoso et les montagnes cantabriques. L'invasion froide qui succède à la perturbation neigeuse maintient la neige sur le sol pendant plusieurs jours, mais que survienne un changement dans le régime dynamique, l'établissement par exemple d'un flux de Sud-Ouest (c'est là une succession très fréquente) et l'on voit s'abattre sur le haut bassin 20 à 30mm d'eau en un jour, 40 à 50mm, parfois bien davantage en 2 ou 3 jours. Ces précipitations relativement tièdes par flux atlantique d'origine plus ou moins méridionale liquéfient alors le manteau neigeux et leur effet s'en trouve augmenté d'autant. C'est là un processus d'une importance primordiale pour l'hydrologie de cette région cantabrique dont les rivières connaissent ainsi, au coeur de l'hiver des poussées complexes d'origine à la fois pluviale et nivale, capables de dégénérer en véritables crues. Les grandes crues cantabriques, de janvier 1960, décembre 1960-janvier 1961 et décembre 1962, dont nous aurons à parler illustrent bien ces processus.

3°/ Le rôle fondamental des neiges pyrénéennes :

Les Pyrénées du fait de leur altitude élevée et de leur position septentrionale constituent la région la plus enneigée d'Espagne et à plus forte raison du bassin de l'Ebre.

- Epoque des chutes de neige. C'est vers le milieu septembre que les premiers flocons font généralement leur apparition au-dessus de 2500m et que les hautes pentes commencent à prendre leur tenue d'hiver. A 2000m cette apparition est encore bien fugitive. Le nombre moyen de jours de neige n'est encore que de 0,7 au

TABLEAU XX : HAUTEUR MOYENNE MENSUELLE DES PRECIPITATIONS NEIGEUSES (en cm)

STATIONS	H (m)	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Années	Coefficient nivométrique
FONT ROMEU	1705		2,2	12,2	42,7	45,0	37,9	40,0	22,3	14,9		271,4	25 %
ENGOLASTERS	1640	1,8	7,1	40,7	42,6	41,5	43,8	23,5	23,3	12,3		236,6	24 %
SAILLAGOUSE	1305		0,2	10,7	16,3	15,7	18,2	10,5	6,2	3,7		81,5	13 %
GLACIERS ANE TO (1955 - 65)	sup à 3000	1	42,0	100	165	112	122	114	120	17	9	802,4	50 %
COL DE BONAIGUA (1955 - 65)	2072	0,6	34,9	75,2	126	112	89	77,2	83,2	22,7	7,9	630,0	50 %

col de Bonaigua à 2072m d'altitude. Au-dessous, le phénomène est exceptionnel : 0,1 à La Molina à 1700m. En octobre l'hiver hésite encore à se manifester, mais à partir de novembre, la fréquence des précipitations solides augmente nettement, et surtout, la neige peut affecter les vallées jusque vers 700 à 800m. Mais elle n'a de chance de subsister qu'au delà de 2000m ; partout ailleurs, comme sur les chaînes basques et cantabriques elle disparaît le plus souvent à l'occasion d'un épisode pluvieux de type automnal ou d'un de ces redoux fréquents jusqu'à l'entrée du mois de décembre. Alors les choses deviennent plus sérieuses. Décembre est presque partout, aussi bien à l'Est qu'à l'Ouest, le mois qui enregistre le plus grand nombre de jours de neige. De plus avec la baisse de température, la couverture neigeuse descend jusque vers 1600 à 1700m. Contrairement à ce qui se passe sur les montagnes cantabriques, janvier est ici d'un bout à l'autre de la chaîne, un mois de répit avant le deuxième maximum qui se situe en février dans les Pyrénées centrales et occidentales, en mars sur le versant méditerranéen. En effet avec le rétablissement des flux perturbés de type méditerranéen la moitié Est de la chaîne connaît alors un regain de précipitations neigeuses. A Bonaigua : 9,8 jours de neige en mars et encore 9,5 en avril contre 8 et 7,8 en janvier et février. Même chose à La Molina, tandis qu'à Panticosa c'est la régression qui s'annonce en mars pour s'accroître en avril. Mai est généralement le mois des dernières neiges. Toutefois celles-ci peuvent encore apparaître jusqu'en juin au-dessus de 2000m et au coeur même de l'été sur les plus hauts sommets.

- Durée et hauteur du manteau neigeux. Jusque vers 800m l'enneigement continu est rare et sans grande incidence sur

l'hydrologie . A partir de 800m on totalise une trentaine de jours d'enneigement, mais il s'agit d'épisodes discontinus dont l'influence sur le régime saisonnier est encore réduit. Vers 1000m la neige peut tenir deux mois durant, et son rôle s'affirme, mais c'est à partir de 1500 à 1600m que ce rôle devient tyrannique. En effet la courbe de niveau de 1600m correspond à peu près à 5 mois d'enneigement. Ainsi Panticosa, à 1636m garde sa livrée hivernale de fin novembre au début mai, soit quatre mois et demi, le col du Somport à 1631m est enneigé pendant cette même période, celui du Pourtalet qui joint le haut Gallego à la vallée d'Ossau par-delà un seuil de 1794m est fermé jusqu'en juin. Les Pyrénées méditerranéennes, contrairement à ce qu'on pourrait imaginer jouissent d'un enneigement à peine inférieur : 5 mois à La Molina, du 20 novembre au 15 avril. Même chose au Puymorens, un peu plus élevé pourtant (1915m) mais plus abrité. Au-dessus de 2000m, c'est pendant plus de la moitié de l'année que toutes les prairies restent inaccessibles. Le col de Bonaigua entre la haute Pallaresa et l'Andorre est enneigé du 15 novembre au début mai. Celui d'Envalira à 2409m connaît à peu près le même rythme. Enfin sur les hauts sommets, la neige ne disparaît guère que pendant deux mois par an.

Outre la durée de ce manteau neigeux, il serait utile d'en connaître l'épaisseur. Malheureusement, les données sur ce point sont rares et difficilement accessibles. Nous n'avons guère de renseignements précis que sur la Cerdagne française et grâce aux travaux de la FECSA, sur le massif de la Maladetta. Nous les avons rassemblés dans le tableau XX :

Ainsi, au-dessus de 1500m, la montagne pyrénéenne

reçoit au moins 2m de neige par an. Cette épaisseur s'élève à 3,50m vers 2000m d'altitude aux Bouillouses, au-dessus de la Cerdagne française, et atteint son maximum sur les hauts sommets de la Maladetta qui reçoivent annuellement une moyenne de 8 à 10 mètres de neige, le maximum de 10 mètres étant enregistré dans la haute vallée de l'Esera, le minimum au niveau des cols : 6,30m par exemple au col de Bonaigua. Si l'on considère que l'équivalent en eau est égal à 10 % de la hauteur de neige fraîche tombée, ces chiffres représentent une lame d'eau de 700, 800, 1000mm selon le cas. Sur un total de 1600 à 2000m de précipitations annuelles, cela représente un coefficient nivométrique de 50 %.

Par rapport aux Alpes, tous ces phénomènes nivaux présentent un certain décalage. Aux Bouillouses par exemple, dans les Pyrénées orientales, la neige tient un mois de moins que dans les stations de l'Ubaye d'égale altitude, et d'une façon générale la nivcosité dans les Alpes à 1100m d'altitude, correspond à celle des Pyrénées à 1500m environ.

Une autre différence avec les Alpes réside dans le fait que, par suite de la latitude et de l'exposition, une partie plus importante de la neige est sublimée, ou évaporée aussitôt fondue. La part ainsi prélevée peut être appréciable et nuancer le rôle hydrologique qui reste malgré tout primordial dans ce milieu montagnard où c'est la neige qui règle l'écoulement des rivières.

*B - LES GLACIERS : UNE INFLUENCE LIMITEE SUR LES MODALITES
DE L'ECOULEMENT -*

Si du point de vue nival, il n'y a pas de différence fondamentale entre les Alpes et les Pyrénées, mais seulement un décalage d'altitude entre les phénomènes, il n'en est pas de même pour les glaciers qui sont ici réduits à des organismes relictuels, de dimensions restreintes, conservés seulement là où une exposition favorable a freiné la fusion des glaces quaternaires. Ces glaciers se disposent en plusieurs groupes.

- Citons d'abord le minuscule organisme (il n'apparaît même pas sur la carte au 1/50.000) blotti sur le flanc Nord Ouest du pic d'Aspe à quelques centaines de mètres de la frontière française. C'est un glacier de cirque haut perché, à très forte pente, surtout en amont, et sans grande importance en ce qui nous concerne.

- Plus à l'Est, au-delà du Vignemale qui tourne vers la France sa face englacée, la crête qui court du Marboré (3250m) au Mont Perdu (3356m) alimente sur son flanc Nord Est essentiellement un groupe assez important de glaciers et névés. Il s'agit du petit organisme du Marboré, le seul en exposition Sud, de la petite nappe - 2km de long - du cylindre, au Nord Est et Est du pic de ce nom et surtout du glacier du Mont Perdu, le plus important, étalé sur 390ha au Nord Est de cette montagne. Il s'agit d'un très bel organisme descendant en cascades de gigantesques séracs vers le cirque de Pineta. Tout cet ensemble alimente le Cinca, soit directement, soit par l'intermédiaire du rio de Ordessa puis du rio Ara.

- A l'autre extrémité du vaste cirque de hautes crêtes qui, du Mont Perdu aux Posets, constitue le bassin supérieur du Cinca, le groupe des Posets éclate en une multitude de petits organismes qui partagent leurs eaux de fusion entre le Cinca et l'Esera. Le plus important dit "Coma de la Paul" s'étire au Nord jusqu'à l'altitude étonnamment faible de 2570 m, et dédie ses eaux à l'Esera par l'intermédiaire du rio Estos après un épisode souterrain de 1500 mètres au cours duquel ces eaux dégringolent de 800 m environ. Trois autres glaciers rayonnent autour du Pic des Posets : Glacier des Posets proprement dit à l'Est, glacier de Llardana à l'Ouest, tourné vers le Cinqueta, enfin le petit glacier de Carrive dominant celui de la "Coma de la Paul". En dehors de ces quatre organismes, de nombreux et minuscules névés subsistent à ces altitudes, en particulier dans la haute vallée d'Eriste et à l'Est de la crête de Bagüenola qui forme, au sud des Posets, la ligne de partage des eaux entre Cinqueta et Esera.

Entre cet ensemble et celui de la Maladetta s'intercale, au niveau du massif de Perdiguero, une nouvelle série de névés et glaciers. D'abord, au Sud de la crête contre laquelle s'adosse, du côté français le lac du Portillon d'Oo, trois névés, installés entre 2900 m et 3000 m égouttent dans le "Valle de Estos", tributaire de l'Esera, leurs eaux de fusion. Au Nord du Pic de Perdiguero, le glacier de Literola s'étale au-dessus du lac du même nom, contre le Pic de Crabioules. Lui aussi, par l'intermédiaire du ruisseau de Literola verse ses eaux à l'Esera. Par ses dimensions, ce glacier est comparable à ceux du massif des Posets, mais du fait de son exposition plein Sud, de sa situation abritée, son épaisseur ne doit pas dépasser quelques dizaines de mètres.

Le dernier groupe vers l'Est est aussi le plus important. Il s'agit de l'ensemble des glaciers de la Maladetta, le seul qui puisse soutenir la comparaison avec ses frères alpins.

Il y a là quelques 400ha de glaciers et névés, accrochés à une série de crêtes, orientées Nord Ouest - Sud Est, du Pic d'Albe au Pic de Russel, et conservés pour la plupart sur le flanc nord est entre 2800 et 3200 m d'altitude. En réalité, les magnifiques champs de neige que l'on aperçoit du Port de Vénasque ou mieux du Pic de Sauvegarde sur la crête frontrière, donnent quelque illusion sur la véritable étendue des glaciers, étendue qu'il est par conséquent difficile de connaître exactement. Toutefois, grâce à de nombreuses expéditions sur les lieux, le pyrénéiste et topographe espagnol Don Ramon de Semir y Arquer a pu réaliser une excellente carte publiée par les "Editorial Alpina" et dont nous donnons un extrait. Mais cet ensemble qui paraît appartenir à la haute vallée de l'Esera est en réalité drainé souterrainement vers la Garonne. Seul le dernier et le plus petit des glaciers du versant nord, celui de Salenques, appartient au bassin de la Ribagorçana, tandis que ceux du versant sud : Glaciers de Coronas, Llosas, Russel, ainsi que le minuscule organisme de Cregüena s'égouttent dans l'Esera par l'intermédiaire du Vallhiverna pour les premiers, du Barranco de Cregüena pour le dernier.

Tout ceci est trop réduit, trop dispersé, pour avoir une importance hydrologique notable. Seuls les petits émissaires rythment leur vie sur celle du glacier. Très vite, les lacs, les infiltrations, l'évaporation et tous les autres facteurs de l'hydrologie estompent l'effet de la fusion glaciaire.

SECTION II - LES TEMPERATURES -

Elles nous intéressent ici à plusieurs égards : comme facteur principal de l'évaporation et comme facteur de rétention nivale pour les hauts bassins montagnards.

Dans l'ensemble, la latitude déjà méridionale, l'abri des Pyrénées, la prédominance d'une topographie de cuvette, font prévoir des températures élevées. Mais d'autre part, les variations dans l'altitude, les nuances dans la continentalité, l'exposition aux influences méditerranéennes ou atlantiques, déterminent une assez grande variété de régimes thermiques.

A - LA GEOGRAPHIE DES TEMPERATURES DANS LE BASSIN DE L'EBRE s'organise par rapport à la vallée de l'Ebre en un schéma très simple. L'axe de la vallée constitue un noyau chaud, à partir duquel les températures s'abaissent au Nord vers les Pyrénées, au Sud vers le Système Ibérique, à l'Ouest vers les Monts Cantabriques et même vers l'Est en direction des bouches du fleuve où l'on constate que les isothermes se recourbent pour fermer la vallée vers l'aval conformément au relief.

En effet, l'isotherme 16° qui limite le secteur chaud, loin de s'ouvrir sur la mer, se referme sur les petites dépressions qui de Tortosa au confluent du Sègre s'égrennent le long du cours inférieur, et s'épanouit sur les basses vallées du Sègre-Cinca au Nord, du Matarrana au Sud. Remontons l'axe de la vallée à partir de Tortosa, nous voyons les températures diminuer régulièrement vers l'amont :

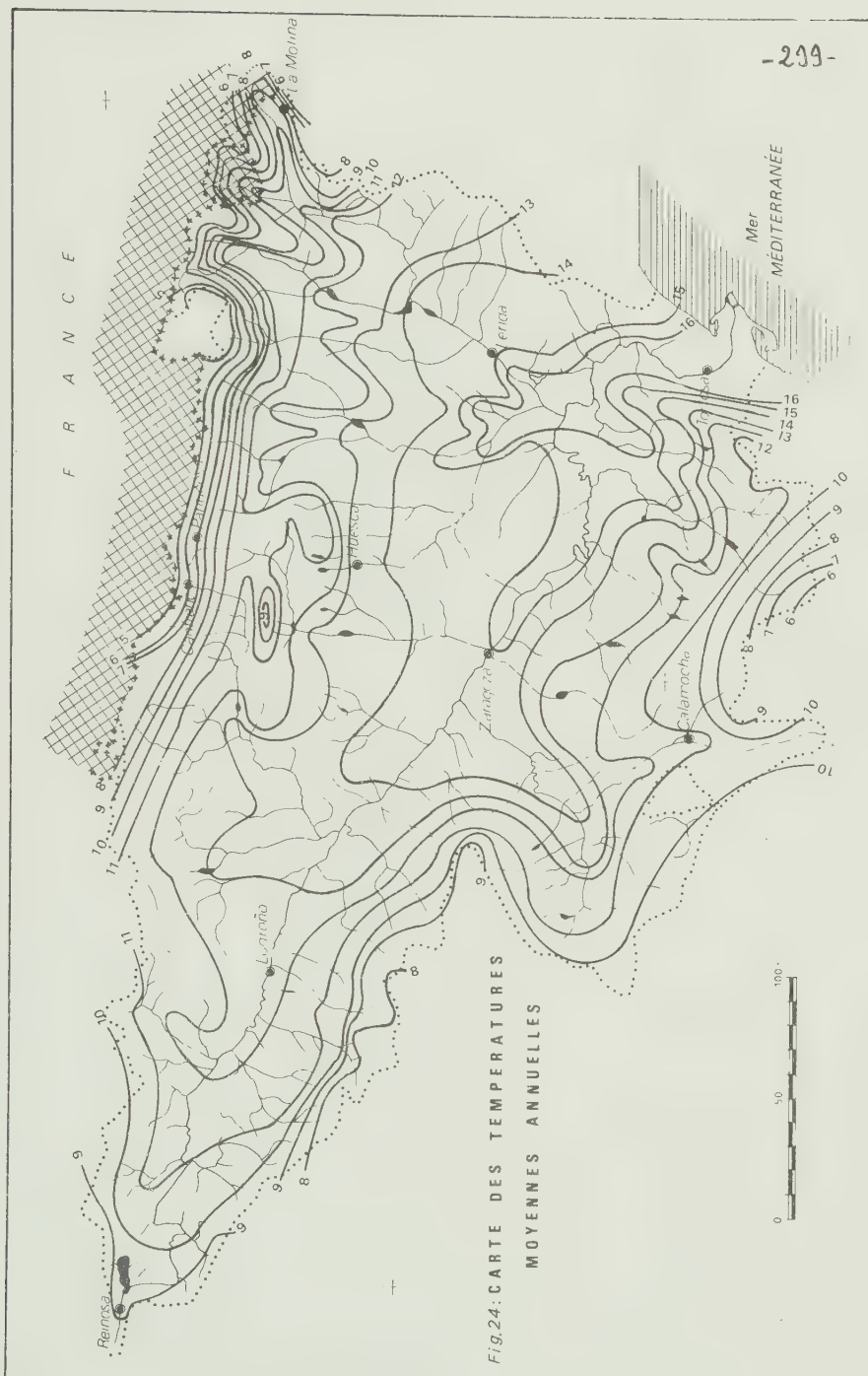




Fig. 25

CARTE D'ISOAMPLITUDE THERMIQUE
ANNUELLE

Tortosa	17°5
Mora de Ebro	16°2
Escatron	15°7
Saragosse	14°7
Agoncillo	13°4
Haro	12°6
Reinosa	9°1

De part et d'autre de cet axe, les montagnes qui ferment le bassin de tous côtés constituent à cause de leur altitude élevée, de véritables pôles de froid, en particulier les Pyrénées, la Demanda, les Picos de Urbion, le Moncayo, l'Albarracín, la Sierra de Gudar, montagnes que souligne l'isotherme 9°. Ici encore, comme pour le relief, comme pour la répartition des pluies, se dessine une nette dissymétrie entre le versant nord, Pyrénéen, et le versant sud, Ibérique du bassin.

Au Sud, l'isotherme 15° serre de très près le fleuve, les suivants se disposent régulièrement en ordre assez lâche jusqu'aux limites du bassin versant. Seul le Moncayo qui s'élève d'un jet au-dessus de la vallée est souligné par un net resserrement des courbes. Il en est de même, mais dans une moindre mesure, pour les autres massifs s'élevant au-dessus de 2000m.

Au Nord de l'Ebre, la diminution de températures est très lente jusqu'au pied des hauts reliefs : Jaca à 800m d'altitude et 100km de l'axe de la vallée a encore 11°5 de moyenne annuelle, Boltaña à 625 m, 13°4. Seules les Sierras Extérieures les plus élevées (Sierra de la Peña), introduisent dans ce milieu apparemment très tempéré, des conditions déjà montagnardes. A partir de 800 m et jusqu'au sommet des Pyrénées, les courbes se resserrent et la

température tombe rapidement à des valeurs relativement basses :

Canfranc	2280 m	8°
Panticosa	1555 m	7°2
La Molina	1711 m	5°8
Bonaigua	2070 m	3°3

Cette zone froide, s'interrompt brusquement à l'Ouest de Roncevaux, avec l'abaissement des reliefs au niveau des massifs basques, et l'influence adoucissante des masses d'air atlantiques.

B - LES DIFFERENTS REGIMES THERMIQUES ET LEUR INCIDENCE SUR L'ECOULEMENT -

- Les différents secteurs du bassin ne s'individualisent pas seulement par leur température moyenne plus ou moins élevée, mais par la marche de ces températures, c'est à dire leur régime thermique. Or, les courbes de moyennes mensuelles et la carte d'isoamplitude annuelle, montrent le passage progressif d'un régime thermique océanique plus ou moins modifié par l'altitude à un régime de type méditerranéen continental, puis franchement méditerranéen.

La haute vallée de l'Ebre, jusqu'à Miranda-Haro, jouit d'hivers relativement doux : 4°2 en janvier à Miranda et encore 2°3 à Reinosa, malgré ses 852 m d'altitude. Toutefois avec 80 jours de gel par an, cette station annonce les conditions plus sévères qui règnent dans la montagne cantabrique. Les étés restent frais : 16° seulement à Reinosa, pour le mois le plus chaud tandis que la tem-

pérature de 25° n'est dépassée que 27 jours par an et que le minimum n'atteint jamais 20° . Il est intéressant de souligner que, d'une façon générale dans tout ce secteur, les maxima sont reportés au mois d'août. Ceci est en effet caractéristique de l'influence océanique, tout comme la faible amplitude annuelle : $13^{\circ}7$ seulement à Reinosa, $15^{\circ}5$ à Miranda, moins de 16° pour tout l'ensemble du secteur vasco-cantabrique (cf. Brest $10^{\circ}2$, la Corogne : $9^{\circ}1$). Mais, la position méridionale vaut à ces régions quelques excès isolés du côté des maxima absolus : on a enregistré $36^{\circ}4$ à Reinosa et 42° à Miranda ; tandis que les minima absolus sont eux aussi capables de quelques écarts étonnants. Le minimum minimorum de Reinosa $-20^{\circ}6$ est plus sévère que celui de Panticosa, égale ceux de Canfranc et La Molina, pourtant situés à des altitudes bien supérieures.

Malgré ces excès très fugitifs, le régime thermique est un régime océanique, mais nuancé par la latitude, l'altitude - l'ensemble du secteur est situé au-dessus de 500 m - et dans une certaine mesure, l'abri, puisque les masses d'air océanique doivent, pour atteindre ces régions, franchir la barrière vasco-cantabrique. En somme, on a là un régime de moyenne montagne océanique.

Depuis le défilé de Haro jusqu'au confluent du Sègre la vallée moyenne de l'Ebre est caractérisée par une continentalité croissante que souligne l'augmentation de l'amplitude annuelle.

$15^{\circ}5$ à Miranda.

$16^{\circ}8$ à Logroño.

18 à 19° à Saragosse selon le lieu d'observation.

20° à partir d'Escatron.

Ces amplitudes résultent d'hivers relativement froids pour la lati-

tude à laquelle on se trouve ($41^{\circ} 39'$, soit 2 degrés plus au Sud que Montpellier).

$6^{\circ}1$ en janvier à Saragosse ($9^{\circ}4$ à Barcelone).

$5^{\circ}4$ à Logroño.

$4^{\circ}5$ à Fraga.

Il gèle à Saragosse 15 jours par an, tandis que les étés avec des températures de 21° et 24° sont partout très chauds. Quant aux maxima et aux minima, ils atteignent des valeurs remarquablement contrastées. Il n'est pas extraordinaire en hiver, de voir la température tomber au-dessous de -10° , tandis que le minimum absolu du siècle se situe à $-15^{\circ}6$, température enregistrée le 1er janvier 1918 et en février 1956. Ces gelées très sévères se produisent généralement en régime anticyclonique. Elles sont accompagnées d'une forte amplitude diurne, liée à un rayonnement nocturne intense et une assez forte insolation diurne. Autre phénomène fréquent en régime anticyclonique : l'inversion de température. Dès 1935, le climatologue allemand Schmitt attirait l'attention sur ce fait en montrant qu'en janvier 1925 la température à Saragosse avait été de $2^{\circ}6$ contre $4^{\circ}3$ à Benasque située à 1140m au coeur des Pyrénées ; de même en janvier 1928 la moyenne de Saragosse fut de $4^{\circ}4$ contre $5^{\circ}6$ à Huesca (540 m). Plus tard, botanistes et phytogéographes comme Font Quer en 1946 et Braun-Blanquet en 1957 montrèrent comment la fréquence du phénomène s'inscrivait dans le paysage végétal. C'est ainsi que les espèces sensibles : pin d'Alep, pistachier lentisque, chêne kermes, chassées de la plaine par les fortes gelées hivernales se réfugient en haut des pentes tandis que la dépression centrale n'est plus qu'une steppe piquetée de quelques

genévriers thurifères souvent fort dégradés par l'homme. Les cultures, elles aussi, se ressentent de ces variations thermiques. C'est ainsi que les oliviers gèlent plus souvent à Saragosse que sur les hauteurs environnantes.

En été par contre, ce secteur du bassin subit des températures véritablement tropicales. Le maximum dépasse 25° pendant 106 jours par an, soit près de 1/3 de l'année, et 30° pendant encore près de deux mois, le maximum absolu du siècle étant de 44° le 27 juillet 1908. De pareilles températures supérieures à 40° ne se rencontrent guère que dans cette région du bassin. Si nous rappelons que le minimum minimorum était de 15°2, cela donne une amplitude absolue de 59°3 ! et pour la période 1866-1900 : 61°6, chiffres qui évoquent comme l'ont déjà souligné Casas Torres et Braun-Blanquet, les conditions thermiques des steppes de l'Asie centrale (1). Ces chaleurs estivales que nous évoquions plus haut se prolongent généralement jusqu'au début octobre, date à laquelle les premières pluies s'accompagnent d'un brusque rafraîchissement de la température. La moyenne tombe alors de 5° de septembre à octobre, et d'une valeur égale d'octobre à novembre. Aucune autre période de l'année ne connaît de variation aussi rapide de la température. Or cette chute du thermomètre entraîne une chute parallèle de l'évaporation, et ce, au moment où se déclenchent les averses automnales. C'est là un fait lourd de conséquences sur le plan hydrologique.

Cette continentalité, trait fondamental du régime thermique de la dépression aragonaise, se retrouve dans tout le

1: Le maximum connu pour Kaboul est de 64°1.

bassin moyen, depuis les Sierras de Albarracin au Sud, jusqu'aux vallées moyennes du Gallego, du Sègre et du Cinca.

Elle caractérise en particulier le vaste bassin du Jalon-Jiloca, tout entier situé à l'intérieur de cette courbe d'isoamplitude 18°, généralement considérée comme la meilleure délimitation du domaine semi-continental. Le record d'amplitude moyenne annuelle de ce secteur, détenu par la bande de terre qui s'étire du haut Jiloca à la lagune de Gallocanta et la région d'Ariza sur le Jalon approche même 20°. En effet, les températures estivales sont ici encore très élevées avec des maxima approchant 40°. Calamocha a enregistré 39° en août 1962 malgré l'altitude de 920m ! mais cette altitude, et surtout la proximité de la meseta d'où descendent en hiver, par régime anticyclonique, des masses d'air froid qui se glissent par les hautes vallées du Jiloca et du Jalon, abaissent les températures hivernales à des chiffres très bas. A Calamocha il gèle 116 jours par an, presque autant qu'à Canfranc. Le minimum moyen de janvier se situe à -2°3, et l'on a pu voir le thermomètre tomber à - 30° en décembre 1963, chiffre jamais atteint pendant nos 15 années de référence (1955-1969), aux trois stations pyrénéennes type, même pas lors du terrible hiver 1956. Ce sont là des rigueurs qui font penser aux excès du climat castillan, voire, comme on l'a signalé pour la cuvette aragonaise, à ceux de l'Asie centrale. Avec près de 70° d'amplitude maximale (+ 39° en août 1962, - 32° en décembre 1963) on approche des records mondiaux. Seules au monde les régions de climat arctique continental (région de Verkoïansk ou plateau de l'Oïmekon) dépassent nettement ces chiffres. Les amplitudes journalières sont, elles aussi, très contrastées. En dehors des seuls mois

de juillet et août, il peut geler tous les jours de l'année, en particulier au petit matin lorsque le rayonnement nocturne a été élevé - chose fréquente sous ces climats très secs - tandis que dans la journée, la forte insolation, l'abri, font à nouveau remonter le mercure jusqu'à des niveaux souvent très élevés. C'est en été que ce phénomène est généralement frappant. Des amplitudes diurnes de 20, 22, 24° sont alors chose fréquente. Nous avons même relevé, au cours de notre période de référence, une amplitude de 26° le 3 août 1954. Le thermomètre ce jour là marquait en effet 6°5 le matin et 32°5 au moment le plus chaud de la journée.

Sur la rive gauche de l'Ebre, tout le piémont pyrénéen et les vallées jusque parfois très avant dans la montagne, participent à cette continentalité thermique, qui atteint ici son paroxysme dans la région de Lérida. Là, les amplitudes annuelles dépassent 21°. La moyenne de janvier à Lérida : 4°8 est en effet inférieure à celle de Saragosse et même de Logroño, à peine supérieure à celle de Miranda. Il gèle chaque hiver une trentaine de jours en moyenne (15 à Saragosse) et la température s'abaisse à -5° ou au-dessous pendant encore 3 jours (0,7 à Saragosse, 16 à Agoncillo). Les étés au contraire sont brûlants. Juillet inflige aux hommes et aux végétaux une température moyenne de 25° soit la plus élevée du bassin après celle du secteur de Tortosa.

Il y a là, en dépit de la proximité de la Méditerranée un climat de cuvette où s'affirme, comme sur les hauts bassins du réseau Jalon-Jiloca, une continentalité thermique étonnamment poussée. Ainsi se précise une parenté climatique entre ces deux secteurs, parenté que l'étude pluviométrique nous avait déjà permis d'entre-

voir, et que l'on doit s'attendre par conséquent à retrouver sur les rivières.

Avec la haute montagne pyrénéenne, on retourne à un régime thermique moins contrasté, mais par contre plus sévère. A la Molina, les températures restent négatives pendant les trois mois d'hiver et il gèle régulièrement pendant près de la moitié de l'année, tandis que les minima absolus descendent assez fréquemment à -10° , -15° . La sévérité et la longueur de ces gelées, surtout à partir de 1500 m, constituent un facteur essentiel du régime des rivières.

Enfin le versant méditerranéen du bassin, ramène des conditions climatiques beaucoup plus clémentes. La moyenne annuelle de $17^{\circ}5$ à Tortosa est faite de températures estivales chaudes : $26^{\circ}3$ en juillet, mais sans excès. Le nombre de jours où le maximum atteint 30° est inférieur à celui de Saragosse, tandis que les hivers sont remarquablement doux : $8^{\circ}9$ pour le mois le plus froid, et 3 jours de gel par an seulement (encore ce chiffre est-il dû au poids de l'hiver 1956, dans une période de référence de 15 ans seulement, insuffisant pour atténuer un phénomène d'ordre au moins cinquantenaire). Cet adoucissement rapide des hivers en direction de la mer entraîne un abaissement accéléré de l'amplitude annuelle, qui tombe au-dessous de 14° dans le delta. On retrouve ainsi, à l'autre extrémité du bassin des valeurs comparables à celles du secteur cantabrique.

L'étude des régimes thermiques et surtout des amplitudes annuelles nous a permis de souligner une fois de plus, le poids

de la continentalité sur le climat du bassin de l'Ebre. Si l'on adopte les mêmes critères que pour l'Europe occidentale, à savoir la ligne d'isoamplitude 18° pour marquer le passage entre les domaines océaniques et semi-continental, on constate que plus de la moitié du bassin appartient à ce dernier milieu, plus particulièrement tout le bassin moyen, du confluent de l'Aragon jusqu'à Gandesa sur le cours inférieur, et des sommets de l'Albarracin et Cucalon, jusqu'au coeur des vallées pyrénéennes, vers 600, 700 m. Le passage d'un domaine à l'autre, se fait très progressivement vers l'amont du bassin, de façon plus rapide sur les versants des reliefs. Mais le plus remarquable est le resserrement des lignes d'isoamplitude en un véritable faisceau qui marque le passage rapide du climat méditerranéen pur, à une nuance continentale de ce climat, et divise ainsi en deux domaines distincts le secteur le plus chaud du bassin, celui limité sur la carte des températures par l'isotherme 16° . Tout ceci est vigoureusement souligné par la végétation, l'atmosphère, le paysage tout entier. Tandis que sur le versant léridan, une brume de chaleur blanchit le ciel et voile un paysage de steppe broussailleuse, à partir de Gandessa, la haute silhouette des grands palmiers se balance dans un ciel très pur, au-dessus des orangeries qui colonisent les étroites terrasses de part et d'autre du fleuve ; et dans la garrigue, le palmier *chamerops humilis* pointe ses feuilles argües entre les touffes de pistachier lentisque, témoignant lui aussi de la douceur de l'hiver catalan.

TABLEAU XXI : FICHE THERMIQUE

a) Région cantabrique :

Reinosa 855 m		S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Année
Moyenne mensuelle		14,6	10,3	5,9	3,2	2,3	3,1	6,2	7,7	10,4	13,7	15,7	16	9,1
Max. moyen		20,2	16,2	11,1	7,5	6,7	7,4	11,8	13,4	15,7	19,8	22,2	22,5	12,5
Min. moyen		8	4,9	1,7	-0,6	-2,4	-1,7	1	1,3	5,1	8,4	9,8	9,9	3,8
Max. absolu		33,6	27,6	23,8	18,4	20,6	21,7	22,8	27,4	31	34,2	36,2	36,4	36,4
Min. absolu		-2	-4,6	-11,8	-14,6	-20,6	-20	-12	-5,4	-5,4	-0,6	1,4	1	-20,6
nb. de jours où	max. $\geq$	35												2
	max. $\geq$	30	1,7							0,1	0,8	1,3	2,2	6,1
	max. $\geq$	25	6,1	1,7						1,1	3,3	7	-	27,2
	min. $\geq$	20												0
	min. $\leq$	0	0,1	1		18,6	15,4	12,7	5,8	1,7	0,6			79,3
	min. $\leq$	-5		0,4	2,2	5,2	3,4	1	0,2					12,4

b) Dépression Centrale :

Agonille 360 m	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Année
Moyenne mensuelle	19,2	14	9	6,5	5,4	6,5	9,7	1,9	15,7	19,3	21,9	21,7	13,4
Max. moyen	25,8	19,1	12,5	9,4	9,7	10,8	14,5	16,6	21,5	25,2	28,9	28,2	
Min. moyen	13,2	9,4	4,6	2,7	2,3	2,3	4,7	6,7	9,7	12,6	15	14,9	
Max. absolu	38,4	29,4	22,6	18,2	17,6	22,6	25,6	29,2	33,8	39,2	39,2	40	40
Min. absolu	5,4	0	5,5	- 5	-11,6	- 9,6	- 4	- 2	1,4	5,4	7,8	8,5	- 11,6
nb. de jours et	max.	35								0,1	2,6	1,4	3,3
	max.	30					1,8	5,4	13,8	12,3	4		37,3
	max.	25	1,8					0,9	7,6	15,3	22,9	21,2	84,2
	min.	20								0,2	0,8	1	2,2
	min.	0	0,06	2	5,8	8,1	1,6	0,2					24,3
	min.	- 5		0,1	0,4	0,5							1,6

1 3 1

c) Dépression Centrale :

Zaragoza 232 m		S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Année
Moyenne mensuelle		20,3	15	9,9	6,6	6,1	7,8	10,9	13,4	17,2	21,2	23,9	23,5	14,7
Max. moyen		26,2	20,6	14,5	10,2	9,9	12,3	16,5	19,3	22,4	27,3	30,7	30,1	20
Min. moyen		14,9	10,4	6	3,4	2,2	3,1	5,7	8,1	11	15	17,3	17,3	9,5
Max. absolu		36	31,2	23,8	19,8	21	21,3	28,6	33,6	35,8	40,7	40,4	42	40,7
Min. absolu		4,6	1	- 3,2	- 6,2	- 10,5	- 8,6	- 3	1,2	2,4	6	9,8	10,6	- 10,5
nb. de jours où	Max. $\geq$	35	0,6								1,7	5,8	3,4	11,5
	max. $\geq$	30	6	0,5						3	8,7	18,3	15,5	52
	max. $\geq$	25	18,6	3,9				0,5	1,2	11,4	17,9	27,2	25,4	106,1
	min. $\geq$	20	1	0,1							3,2	6,5	4,3	15,1
	min. $\leq$	0		1,1	3,8	5,8	3,8	0,5						15
min $\leq$		- 5			0,2	0,06	0,5							0,7

d) Pyrénées :

Canfranc : 280 m	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Année
Moyenne mensuelle	12,4	8,9	4,5	1,7	0,5	1,1	3,8	6,5	9,7	13,4	16,5	16,5	8
Max. moyen	21,9	16,2	8,4	4,8	4,4	4,8	7,9	9,5	15,9	21,8	26,3	25,9	
Min. moyen	9,1	4,1	0,2	- 2,5	- 3,6	- 3,5	0	1,2	6	8,0	10,6	10,1	
Max. absolu	29	23	19	18	15	19	19	25	26	30	32	31	32
Min. absolu	0	- 3	- 9	- 15	- 15	- 21	- 10	- 8	- 3	2	4	3	- 21
nb. de jours où													
max. 35										0,1	0,5	0,1	0
max. 30													0,7
max. 25	4								0,4	3,9	10,7	9,6	24,6
min. 20													0
min. 0		4	15,8	25,1	26,8	23,8	20,1	12,1	2				129,7
min. - 5			1,1	9,9	11	8,3	3,6	0,4					34,3

e) Pyrénées :

Panticosa 1 555 m	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Année
Moyenne mensuelle	12,8	8,1	3,9	1,3	0	0,9	3	5	8,5	12,2	15,6	15,2	7,2
Max. moyen	17,2	12,1	7,1	4,3	4,8	5,2	7	7,6	11	16,3	20,5	19,9	
Min. moyen	7,6	3,5	- 0,8	- 3,4	- 4,2	- 3,6	- 1,7	- 0,2	3,4	6,8	9,1	9,1	
Max. absolu	28	21,5	19	15,5	15	14,5	18	18,5	23	29,5	28,5	29,5	29,5
Min. absolu	- 1,5	- 6,6	- 10	- 15,5	- 15,5	- 17	- 14	- 9,4	- 6	- 1	0,2	0	- 17
nb. de jours où	max. > 35												0
	max. ≥ 30												0
	max. ≥ 25	1,1								1,1	2,9	3,2	8,3
	min. ≥ 20												0
	min. ≤ 0		5,5	18	27,3	28,6	22,7	16,6	3	0,7			146,5
	min. ≤ - 5		0,2	3	10,6	13	7,3	2,1	0,4				47,9

f) Pyrénées :

La Molina 1711 m		S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Année
Moyenne mensuelle		11,9	6,7	1,8	-	- 1,2	- 0,9	1,9	3,5	7,8	11,1	14,2	14	5,8
Max. moyen		17,2	11,5	5,6	1,9	2,2	2,4	5,6	7,7	12,4	15,7	19,7	19	
Min. moyen		6	2,3	- 2,2	- 5	- 6	- 6,2	- 2,9	- 1	2,5	5,6	8,8	8,6	
Max. absolu		26,8	21	15,8	13	14	15,8	18	18,4	22	27	28,4	28	28,4
Min. absolu		- 3	- 9,4	- 12,4	- 18	- 19,6	- 21,4	- 16,4	- 10,8	- 6	- 3,4	0,2	- 1	- 21,4
Nb. de jours d'	max.	35												0
	max.	30												0
	max.	25	0,6								0,1	1,2	1,1	3
	min.	20						0,4	0,4	4,7	2,6	1,4		9,5
	min.	0	1	7,2	22,5	29,2	25,5	24	20	7	1,3		0,7	165,5
- 5			1,5	7,3	15	18,1	17,5	9,2	5,3	0,5				74,4

g) Région sous-pyrénéenne :

Lérida	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Année
Moyenne mensuelle	21,5	15,8	9,6	5,6	4,8	7,4	11,3	14,4	18,4	22	25	24,5	15
Max. moyen	27,8	21,4	13,9	9,4	9,9	12,1	17	20,2	24,9	28,2	31,6	31	20,7
Min. moyen	15,1	10,5	4,9	1,9	1,7	3,2	5	7,4	11,4	16,5	17,8	17,6	9,1
Max. absolu	38	30	26,2	19,2	20,6	23	27,4	29,8	34,6	38,8	40,8	39	40,8
Min. absolu	8	- 0,4	- 4,4	- 14,6	- 10,6	- 11,6	- 2,2	- 1,6	4,4	7,6	11,8	11,2	- 14,6
nb. de jours où	max. $\geq$ 35								3	11,4	22,3	18,5	64,7
	max. $\geq$ 30												
	max. $\geq$ 25	21,5	7,3				0,1	2	15,2	24,3	30,7	29,7	130,8
	min. $\geq$ 20	0,3								1,3	4	2,7	8,3
min. $\leq$ 0		0,1	2,7	10	12,4	7,7	2,3	0,1					35,3
min. $\leq$ - 5				1,5	0,5	0,9							2,9

h) Système Ibérique :

Ca: amp. ha 920 m		S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Arrivée
Moyenne mensuelle		16,7	11	6,2	2,8	1,7	3,2	6,5	9	13	16,9	20,2	20	10,6
Max moyen		24,8	17,6	10,9	7,8	8	10	13,6	15,6	20,9	24,4	29,2	28,6	17,6
Min. moyen		8,9	4,5	0,5	- 1,2	- 2,3	- 1,2	0,5	1,3	4,7	8,3	- 0,9	11,1	3,6
Max. absolu		34,5	29	22	17	19	26	28,2	28	31	36,5	38,5	39	19
Min. absolu		- 1	- 5	- 9	- 30	- 15	- 18	- 12	- 8,5	- 6	- 1,5	2	2,5	- 30
nb. de jours où	max.	35									0,7	2,1	1,9	4,7
	max.	30	5,5							1,1	6,1	16,2	14,2	43,1
	max.	25	15,8	3,2			0,1		0,4	5,9	15,6	27,2	23,8	92,0
	min.	20												0
	min.	0	0,2	13,7	22,6	22,6	24,4	17,7	11,3	4	0,5			116,8
min. - 5				2,3	7,8	9,1	7,5	4,9	0,8	0,2				32,6

i) Versant Méditerranéen :

Tortosa	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Année
Moyenne mensuelle	23,2	18,5	13,9	10,4	8,9	11,1	13,3	16,2	19,3	23,6	26,3	25,9	17,5
Max. moyen	27,7	22,7	16,1	12,3	12,9	15,3	18	20,6	23,3	25,8	30,2	30,6	21,3
Min. moyen	17,6	13,3	8,5	5,6	5,1	6	7,9	10,2	13	17,2	19,9	20	12
Max. absolu	34,8	32,3	26	22,8	25	24,8	28	34	33,4	35,6	37,2	38,6	38,6
Min. absolu	9,2	4,6	0,0	- 3,8	- 5	- 3,8	- 0,0	2,8	3,6	9,3	12,6	12,9	- 5
nb. de jours en	max. $\geq$ 35	0,3								0,1	0,3	0,4	1,1
	max. $\geq$ 30	8,2	1,3							4,4	14,8	17,3	46
	max. $\geq$ 25	24,9	8,8	1,6			0,7	0,9	2,6	22,7	30,4	30,3	134,4
	min. $\geq$ 20	5,2	0,1						12	1,5	13,1	15,9	35,9
	min. $\leq$ 0			0,06	0,8	0,9	2,1						3,8
min. $\leq$ - 5						0,2						0,2	

SECTION III - L'HUMIDITE RELATIVE ET LA NEBULOSITE -

A - L'HUMIDITE RELATIVE -

Elle intervient ici comme un élément de modification de l'évapotranspiration, et par là agit sur le bilan hydrique des sols et sur les bilans de l'eau en général.

TABLEAU XXII : VARIATIONS DE L'HUMIDITE RELATIVE AU LONG DE LA VALLE DE L'EBRE

Station	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Année
Reinosa	74	73	77	80	81	78	71	71	70	73	71	70	74
Miranda	74	80	82	84	83	78	75	72	70	71	67	70	75
Logroño	69	76	78	80	83	74	72	66	64	62	59	62	70
Zaragoza	61	67	73	74	74	67	61	57	57	56	52	54	63
Tortosa	68	70	69	70	68	64	66	63	65	63	64	66	66

(en %)

Le tableau des variations mensuelles de l'humidité relative, à différentes stations de la vallée del'Ebre échelonnées de Reinosa à la mer, nous permet de retrouver les mêmes contrastes que ceux déjà signalés lors de l'étude de la pluviosité : contraste entre un secteur amont, d'influence océanique à forte humidité relative en particulier en hiver où elle dépasse 80 %, et un secteur

central où la sécheresse s'accroît vers l'aval de la cuvette, pour atteindre son maximum immédiatement avant l'entrée des gorges. Déjà à Saragosse l'humidité relative annuelle tombe à 63 % et descend même en été jusqu'à 52 %, voire beaucoup plus bas certains jours, en particulier par vent de Nord-Est où elle peut tomber à 30 ou même 20 % par suite de l'effet desséchant de ce vent. D'autre part, les moyennes calculées à différentes heures de la journée par les météorologues espagnols A. Biel Lucea et L. Garcia de Pedraza, donnent pour valeur minimale le chiffre très bas de 42 % pour le mois de juillet à 18 heures. Dans ces conditions l'évaporation se trouve particulièrement exaltée et ceci influe gravement sur le bilan hydrique des sols et par conséquent le débit des sources.

L'approche de la Méditerranée ramène une certaine humidité: 66 % à Tortosa contre 63 % à Saragosse, mais surtout cette humidité est répartie différemment. L'été est un peu plus humide, l'hiver un peu plus sec, la répartition de cette humidité est donc plus régulière et surtout plus favorable au bilan de l'eau puisque par rapport à Saragosse et au bassin moyen, l'humidité atmosphérique baisse au moment où la température se refroidissant commande une évaporation plus réduite. Mais il est trop tard pour que tout ceci ait sur le fleuve une importance notable. Nous ne sommes plus qu'à quelques dizaines de kilomètres de la mer.

B - LA NEBULOSITE -

En ce qui concerne la nébulosité, ou sa valeur complémentaire l'ensoleillement on constate que, s'il y a généralement

concordance entre ces phénomènes et la pluviosité ou l'humidité relative, il existe des exceptions assez remarquables.

Le maximum de nébulosité se situe non pas dans la zone la plus arrosée : la montagne pyrénéenne, mais dans ce secteur vasco-cantabrique si proche de l'océan, si souvent baigné par les masses d'air humides venues de l'Atlantique. De plus, l'orientation Est-Ouest des reliefs face aux vents du large, détermine sur les faces nord une importante nébulosité de détente, tandis que les versants sud, sous le vent jouissent d'un abri relatif et d'un ensoleillement plus important. Deux phénomènes contribuent en effet ici à dissiper les nuages : la transformation progressive des vents de Nord-Ouest en un vent à caractère de foehn ; le développement d'une brise de vallée qui oblige les nuages à se dissoudre littéralement. C'est là un phénomène assez remarquable que nous avons pu observer du sommet du "Pico de las tres Mares" à 2175 m d'altitude, sur la crête qui partage les eaux entre le versant atlantique et le versant méditerranéen. Nous étions partis de Reinosa par une belle matinée de septembre sous un ciel rendu très légèrement laiteux par un voile de cirro stratus. Parvenus au sommet, au lieu de l'océan que nous espérions voir briller à l'horizon, c'est la masse grise et ouatée des vapeurs atlantiques escaladant la montagne avec une vitesse déconcertante qui s'offrit à nous. Il semblait que nous dussions être pris d'assaut dans l'instant suivant. Rapidement nous fîmes demi-tour et, tout en descendant aussi rapidement que possible, nous regardâmes de n'être point pris de vitesse par le brouillard. C'est alors que nous vîmes ce spectacle étonnant : parvenus au sommet de la barrière montagneuse, les nuages, loin de nous pour-

TABEAU XXIII : NEBULOSITE ET ENSOLEILLEMENT DANS LA VALLEE DE L'EBRE (d'après A. Biel Lucea et G. de Pedraza) !

Station		S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Année
Logroño	●	7,5	9,9	1,4	12,4	12,9	11,3	11,2	10,6	10,1	7,1	4,2	4,9	113,5
	○	7,2	5,4	5,4	3,2	4	4,4	6,2	5,1	4,6	6,2	10,3	9,2	71,2
	I	199	153	124	100	109	132	171	185	230	268	315	285	2 271
	I %	53,1	44	42	35	37,1	44,6	46,4	46,4	51,9	59,1	67,3	66,7	49,5
	≡	0,3	1,2	3,1	3,6	2,6	1,4	0,7	0,1	-	0,1	0,2	0,3	13,4
Zaragoza	■	7,9	10,2	9	6,4	89	7,1	8	5,4	1,6	2,4	5,3	7	79,2
	○	6,2	6,1	6,5	6,4	6,4	6,1	5,7	6,7	14,1	12,9	7,9	7,1	92,1
	I	236	195	156	122	137	167	198	227	279	312	363	325	2 717
	I %	63,2	50,7	52,7	42,6	46,2	56,3	53,5	56,8	67,1	68,7	78,3	75,9	58,9
	≡	0,9	2	5,5	7,4	7,7	4,5	1,8	0,5	0,1	0,1	-	0,1	30,6
Tortosa	●	10,6	10,1	9,9	1,9	11,7	9,6	8,3	8,9	8,2	10,7	16,2	15,5	128,6
	○	3,8	4,7	5	5,3	5,1	4,7	6,9	5,6	5,8	3,3	16,6	2	68,8
	I	227	196	166	151	163	169	191	224	257	286	337	287	2 633
	I %	61	57	56	53	55	56	52	56	56	63	70	61	59
	≡	1	2,8	2,8	2,3	3	3	3,9	4,3	1,4	0,4	0,3	0,4	23,6

● nombre de jours de ciel couvert

○ nombre de jours de ciel clair

Période de référence : Logroño : 1937-56 (20 ans), Zaragoza : 1926-55 (30 ans),

Tortosa : 1926-55 (30 ans).

I : nombre d'heures d'ensoleillement

I % : pourcentage par rapport à la durée de l'illumination.

≡ : brouillard.

suivre, continuaient leur ascension tout en se diluant peu à peu dans le ciel, comme peignés par les crêtes et soulevés par un souffle invisible venu de la vallée. A Reinosa, le temps n'avait pas changé depuis le matin. Ce genre de phénomène est assez fréquent pour influencer sur le nombre moyen d'heures de soleil. Il est remarquable en effet de voir les isolignes, venues du versant atlantique, franchir le fleuve en laissant à l'écart dans une zone un peu moins nuageuse, le bassin de Reinosa, pour venir englober le versant nord du Système Ibérique, dans le secteur de la Demanda. Au-delà des Sierras de Cantabria et Andía, qui accrochent les derniers nuages venus de l'Atlantique, l'ensoleillement augmente rapidement mais les maxima s'écartent de la vallée pour s'étirer en deux axes, l'un au Sud, vers le haut Jalon, l'autre au Nord, vers le "Somontano" de Huesca, les "Cinco villas" et les "Bardenas". Au-dessus de la vallée, au contraire, les isolignes dessinent un rentrant correspondant à une diminution de l'insolation. Ici la carte de l'ensoleillement est en discordance totale avec celle des pluies. Ce n'est donc pas la pluie qui est responsable de ce phénomène, mais la fréquence des brumes et brouillards, en particulier brouillards de rayonnement nocturne en hiver et brumes d'inversion de température.

Le brouillard est un des météores caractéristiques de la vallée moyenne de l'Ebre, en hiver et principalement dans la région de Saragosse. C'est à dire au centre topographique de la cuvette. C'est lui qui est responsable du nombre relativement élevé de jours couverts en ce secteur, où l'on atteint au contraire le minimum pluviométrique du bassin. Il se produit par situation anti-

cyclonique et temps calme, favorisant la stagnation de l'air. Alors, on voit la masse nuageuse envahir progressivement la vallée et les vallées adjacentes jusqu'aux courbes de niveau 250 à 300 m. Au petit matin aux abords du fleuve la visibilité est alors réduite à quelques mètres tandis que pendant la journée le soleil peut rester voilé derrière un épais stratus. Un froid aigre et désagréable s'étend alors sur la grande cité aragonaise, alors que dans le même temps, les neiges pyrénéennes étincellent au soleil et que la région méditerranéenne baigne dans une lumière très pure. Ce phénomène, le voyageur qui parcourt la route Saragosse-Barcelone par une brumeuse matinée d'hiver en prend facilement conscience. Parti de Saragosse au lever du jour, il voyage dans une aube dangereuse et sale jusqu'à ce que, gravissant les rampes sinueuses par lesquelles on passe du bassin de Lérida au versant méditerranéen il débouche brusquement au-dessus de la mer de nuages, sous un soleil radieux, dans un paysage de pinèdes et d'oliveraies, totalement différent des étendues steppiques devinées plus qu'entrevues à travers l'épais brouillard.

En altitude les sondages révèlent une inversion thermique qui se développe jusque vers la surface de 850 mb, et qui se trouve plus particulièrement accusée vers 150 à 200 m. Au-dessus de cette couche d'inversion, résultant de la subsidence de l'air froid, on atteint vers 700 mb, une couche plus chaude (8 à 10°).

Ces situations se produisent surtout en automne et en hiver, et plus spécialement du milieu novembre au milieu février, ce qui explique la plus grande fréquence des brouillards à cette époque de l'année. Sur une moyenne de 30 jours de brouillard par an

à Saragosse, 20 se situent au cours des trois mois évoqués. Mais ce chiffre moyen peut être largement dépassé. Le seul mois de décembre 1924 a connu 25 jours de brouillard et en janvier 1954 celui-ci a régné en maître pendant dix jours consécutifs sans se lever. Etant donné les conditions précédemment évoquées pour la formation de ce brouillard, on conçoit que le phénomène soit plus fréquent lors des hivers froids et secs, surtout s'ils suivent un automne pluvieux.

SECTION IV - LE VENT : FACTEUR IMPORTANT DE LA SECHERESSE ARAGONAISE-

Comme dans tous les pays méditerranéens, le vent est ici un élément du climat de tout premier ordre, non seulement par sa fréquence et sa violence, mais aussi par son action sur les autres éléments du climat, sur la végétation, et sur la vie humaine en général.

L'étroite parenté avec le monde méditerranée, s'exprime d'abord dans la rose des vents (v. ex. de Saragosse, fig. 27) : une rose à 2 branches, dont l'une traduit des vents de secteur N - plus précisément ici NW ou même WNW, l'autre s'étire vers le SE, en direction de la Méditerranée d'où vient le Bochorno.

A - LE CIERZO (1) : Dans le bassin de l'Ebre souffle un vent comparable au Mistral, à la Bora ou au Vardarac : le Cierzo. C'est un vent continental de NW, froid et sec qui dévale la dépression de l'Ebre balayant les nuages vers l'aval et assurant un type de temps comparable au temps de Mistral : même froid vif et désagréable, un froid dont on se défend mal malgré les doubles fenêtres de nombreuses maisons saragossanes, ou l'absence d'ouverture au NW dans les maisons villageoises ; même rythme diurne caractérisé par un maximum vers midi et une pose nocturne. La plus grande fréquence et surtout la plus grande violence de ce vent sont enregistrées au centre de la cuvette aragonaise, de Tudela à Caspe. Au coeur de cette zone, Saragosse, "la fiancée du vent" (2) peut subir des rafales de plus de 100 km/h (3) (126 km/h le 16 décembre 1946). Ce vent, fréquent surtout en hiver, peut souffler en toutes saisons.

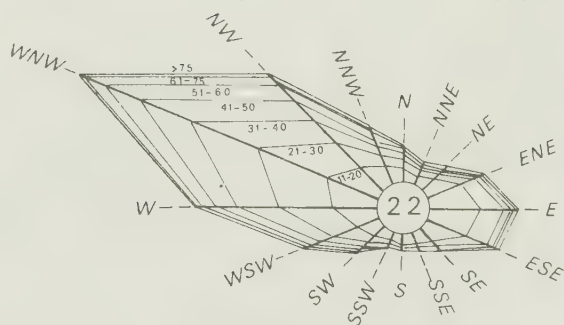
La situation barométrique responsable du Cierzo est caractérisée par une apophyse cantabrique de l'anticyclone des Açores ou de l'anticyclone nord-atlantique, et une dépression en Méditerranée, entre

(1) Le mot Cierzo vient de "Cercius", vocable d'origine tberé qui a donné sur l'autre versant des Pyrénées le "Cers". Le "Cers" est un vent froid et sec qui souffle sur le Narbonnais.

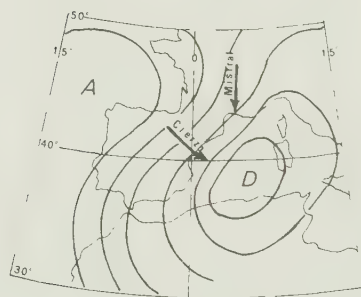
(2) Selon le poète Eugenio d'Ors.

(3) Au début de notre ère, cette violence avait frappé l'envahisseur romain Caton le Censeur qui séjourne en Espagne au IIIème siècle. Il parle des violentes rafales du Cierzo qui souffle sur l'Espagne Citérieure ; "Le vent Cierzo qui, lorsqu'il souffle te remplit la bouche, et renverse hommes armés et charettes chargées". Comme nouvelle preuve de la violence de ce vent, Jimenez Soler signale encore ce fait historique : au XVème siècle, le Prince Alphonse (futur Alphonse V) venant de Barcelone par vote d'eau fut obligé de rester plusieurs jours à Pina, son bateau ne pouvant passer à cause du vent.

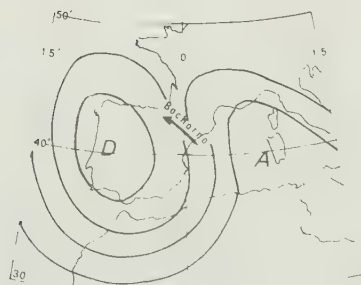
Fig. 27 LE VENT A ZARAGOZA



Rose des vents de ZARAGOZA



Situation typique de "cierzo"



Situation typique de "bochorno"

(d'après L. Garcia de Pedraza)

Baléares et Corse-Sardaigne. Le gradient qui en résulte se situe dans l'éventail NE-N-NW. Il est souligné par la direction des lignes de force d'altitude (carte à 500 mb). Mais le cas le plus fréquent est un gradient NE-SW. Or le Cierzo est toujours un vent de NW. On sait aujourd'hui que cette direction résulte non de la canalisation par les reliefs, mais de la déviation imposée aux flux de NE par la barrière pyrénéenne. Les vents utilisent l'axe de la vallée comme charnière de rotation. C'est pourquoi les vents de NE à San-Sébastien se traduisent par des flux de NW à Saragosse. La direction est ensuite maintenue par l'orientation des reliefs et la violence du courant est renforcée par l'effet d'entonnoir.

Le rôle de ce vent est de toute première importance. Il se reflète d'abord dans le paysage par l'intermédiaire de la végétation. Comme dans la vallée du Rhône, les arbres affectent un port en étendant, et les cultures doivent être protégées par des haies de buissons ou de canes. Mais l'essentiel dans notre perspective, c'est l'effet desséchant de ce souffle brutal. En effet, on constate que par temps de cierzo, l'humidité relative tombe le plus souvent à des niveaux très bas : 20 à 35 %. L'évaporation s'en trouve alors exaltée. Dans la campagne les plantes se fanent et les sols se dessèchent et souvent s'encroûtent.

Assez paradoxalement, c'est aussi, bien souvent, une action desséchante qu'exerce dans la Dépression Centrale, l'autre vent dominant "le Bochorno".

B - LE BOCHORNO -

A l'origine, le Bochorno est un "marin". C'est donc un vent de SE, tiède et humide, qui souffle principalement aux saisons intermédiaires, printemps et automne. La situation qui le déclenche est exactement l'inverse de celle qui engendre le Cierzo: une dépression sur le Golfe de Cadix et une situation anticyclonique en Méditerranée. Lorsqu'une perturbation active accompagne la dépression, le Bochorno qui se déclenche alors est porteur de pluie, au moins sur le bassin inférieur et moyen. Mais très souvent lorsqu'il débouche dans la cuvette aragonaise après avoir franchi la cordillère catalane, ce "marin" a perdu en partie ses caractères originels. Il s'est deshydraté sur le versant au vent, et en redescendant vers l'intérieur il a acquis les caractères d'un foehn. C'est alors un vent chaud et sec, plus redouté encore des paysans que le Cierzo à cause de son effet desséchant sur les végétaux. Ainsi, dans la Dépression Centrale au moins, et quelle que soit leur direction, les vents sont presque toujours facteurs de sécheresse. Il n'en est pas de même aux deux extrémités du bassin, à l'aval, où le Bochorno est bien un vent humide, et dans le secteur vasco-cantabrique où les vents de NW lorsqu'ils ne sont pas d'origine anticyclonique, sont porteurs de pluies abondantes.

SECTION V - LA COUVERTURE VEGETALE -

La végétation constitue un facteur important de l'écoulement. Son action est complexe et s'exerce sur deux plans essen-

tiellement : celui du climat et celui du bilan hydrique des sols.

La végétation modifie en effet les données climatiques et d'abord la pluviosité. Elle intercepte une partie de la pluie qui est ensuite évaporée au niveau des feuilles avant même de parvenir à terre. Le couvert végétal agit de plus sur l'état thermique du sol et sur l'état hygrométrique de l'atmosphère au voisinage du sol, ... et par conséquent sur l'évaporation.

La situation est encore plus complexe à l'intérieur du sol. Non seulement les plantes y prélèvent une partie de l'eau absorbée, mais par l'intermédiaire de l'humus, elles modifient les conditions de l'infiltration et de la rétention d'eau.

Enfin les végétaux jouent un rôle mécanique important dans les zones de forte déclivité. En freinant le ruissellement lors des grandes averses, ils diminuent la vitesse de concentration dans les bassins versants, et par conséquent atténuent la violence des crues. De même la végétation du bord des eaux qui envahit les lits majeurs des rivières, contribue lors des inondations à diminuer la vitesse de propagation du flot.

Mais l'efficacité de cette action est liée au type de végétation auquel on a affaire, et plus précisément, à sa densité et à son degré de recouvrement du sol.

Trois domaines floristiques différents se partagent le bassin de l'Ebre : la montagne pyrénéenne appartient encore en grande partie au domaine de la forêt boréale dont elle constitue la marge méridionale. Mais la forêt claire de pins surmontant un "material" de chêne vert qui garnit l'étage inférieur des Pyrénées

et encore les pentes du Système Ibérique relève du domaine méditerranéen, de même que le maquis plus ou moins dégradé des gorges de l'Ebre inférieur. Enfin, la steppe aragonaise constitue un avant-poste du domaine mauritanien.

A - LE MILIEU PYRENEEN ET SES NUANCES -

Les fortes déclivités et les pluies abondantes feraient des Pyrénées une zone vouée au déchaînement des eaux sauvages sans l'abondante végétation forestière qui en recouvre les versants. Mais cette forêt présente des aspects variés en fonction de l'altitude, de la distance à l'océan pourvoyeur d'humidité, de la lithologie et, à une échelle plus fine, en fonction de l'exposition. C'est pourquoi plusieurs coupes à travers la chaîne s'avèrent nécessaires si l'on veut donner une idée de la couverture végétale et des modalités différentes de son action sur l'écoulement.

1 - Dans la partie centrale de la chaîne, c'est à dire au droit des Pyrénées aragonaises, l'étagement se présente de la façon suivante :

a - A la base et jusque vers 600 à 800 m, sous un climat de type méditerranéen submontagnard, règne le climax du chêne vert. L'Yeuse est ici accompagné, au moins dans les secteurs les plus chauds par le pin parasol et le pin d'Alep. Son cortège est constitué, en particulier sur les "solanas" de San Juan de la Peña et de la Peña de Oroel, par le thym, la lavande, le genévrier oxycèdre et encore "*Thymelaea tinctoria*" "*Globularia cordifolia*". En réalité,

cette forêt existe rarement à l'état primitif. Presque partout, elle est remplacée par les cultures (oliviers, vigne, céréales) ou des formes de dégradation plus ou moins poussées : la lande à buis qui représente un premier stade ou au stade suivant, la pelouse à aphyllante qui sert de pacage aux ovins et caprins. La disparition de la végétation primitive, plus couvrante que les formes actuelles de dégradation, constitue un grave danger pour les sols de cette région particulièrement sensibles à l'érosion, qu'il s'agisse du flysch du synclinal navarro-aragonais ou des marnes de la "Canal de Berdun". Il y a là un fait primordial qui explique la forte charge en troubles des affluents pyrénéens, dans leur cours moyen et inférieur. Or, pour l'ingénieur chargé de la construction ou de l'entretien d'un barrage comme celui de la Peña par exemple sur le Gallego, c'est là une source d'énormes problèmes. C'est en partie pour ces raisons que la politique de construction de barrages s'est doublée d'un important effort de reboisement développé surtout au sein de la moyenne montagne dont il convient de parler à présent.

b - La transition entre le domaine de la forêt méditerranéenne et l'étage de moyenne montagne est assurée, vers 700 - 800 m par la chenaie de Quercus subpyrenaïca, arbre qui joue le même rôle que le pubescent en Languedoc (1). Là encore, cette formation a été profondément bouleversée par l'homme, soit qu'il ait introduit à la place divers pins (en particulier le pin Laricio ou le pin noir d'Autriche), soit que le surpâturage ait entraîné la même évolution

1. Il s'agit d'ailleurs d'un hybride de *Q. faginea* et *Q. pubescens*.

régressive que dans la chênaie d'yeuse (*Buxetum* puis *Aphyllanthion*). Ailleurs, la dégradation anthropique a seulement favorisé la remontée du chêne vert et son développement aux dépens de *Quercus pyrenaica*, ou l'installation d'une formation très claire de chênes et de pins sylvestres rabougris accompagnés de "*Genista horrida*" et de divers brachypodes (*B. phoeniceoides* ou *B. Pinnatum* selon le degré de continentalité).

c - L'étage de moyenne montagne proprement dit est occupé, selon l'exposition et le degré d'humidité, soit par le chêne rouvre ou le hêtre, soit par le pin sylvestre. Sous le climat sec, ensoleillé, continental de l'Aragon, c'est le pin sylvestre qui domine, alternant parfois, surtout dans la partie est du secteur, vallées du Cinca, Cinqueta, val d'Ordesa, avec le pin Laricio. Dans la seule province de Huesca, ces espèces couvrent 250 000 ha pour le pin sylvestre, 31 000 ha pour le Laricio. En Navarre, les chiffres correspondants sont de 66 000 ha et 14 000 ha. Comme on l'a vu plus haut, ces forêts correspondent souvent à des reboisements systématiques sur forêt dégradée de chêne. C'est le cas sur le haut Aragon, dans le secteur de Canfranc.

L'augmentation de continentalité et d'altitude détermine l'apparition sous la pinède des coussinets épineux de "*Genista horrida*". Invulnérables à la dent du mouton, ils constituent une bonne protection contre le piétinement des animaux. Sur sol épais et peu lessivé, associés à une strate muscinale importante, ils jouent un rôle favorable lors des orages estivaux. En retenant les eaux de pluie, ils interdisent un ruissellement trop violent et

freinent l'érosion.

- A côté du pin sylvestre, les essences de milieu humide ne jouent ici qu'un rôle secondaire.

Le hêtre si développée en Navarre ne couvre dans les Pyrénées centrales que de faibles surfaces. Il se cantonne soit dans les hautes vallées (vallée de l'Aragon par exemple, aux abords de Arañones) soit sur les ubacs. Au total, il couvre 25 000 ha dans la province de Huesca, 22 000 dans celle de Logrono.

De même, le rouvre de la formation Fraxine-Carpinien n'occupe dans ce secteur que 6 000 ha contre 22 000 dans la Navarre plus humide.

d - L'étage subalpin à partir de 1700 m environ est le domaine des conifères d'altitude, en particulier du pin à crochets (*Pinus uncinata*) qui se hisse au-dessus de tous les autres conifères jusqu'à 1800, 2000 m et même 2300 à 2400 m sur les "Solanes". Parmi les feuillus, seuls quelques bouleaux et quelques trembles l'accompagnent jusqu'à ces altitudes.

e - Au-dessus, après une zone de transition constituée par une forêt de plus en plus dégradée, où les rhododendrons jouent un rôle important à côté de "*Genista horrida*" et des genévriers nains, c'est la prairie d'altitude ou bien, lorsqu'il n'est pas masqué par la neige, le paysage lapidaire des crêtes rocheuses et des pierriers.

Mais tout ceci n'est valable que dans un secteur donné de la chaîne. D'Ouest en Est en effet, la diminution de l'humidité, l'augmentation de l'ensoleillement modifient la composition floristique des étages et agissent sur la densité du couvert, et ces

variations ont au niveau du sol des retentissements importants.

2 - Vers l'Ouest à partir de la vallée du Roncal et surtout d'une ligne Pampelune-Roncevaux, les Pyrénées occidentales et la quasi totalité des montagnes cantabriques du bassin appartiennent au milieu de moyenne montagne océanique. En effet, les influences atlantiques l'emportent désormais nettement. D'autre part, l'altitude diminue. Il en résulte une disparition des étages supérieurs : étage subalpin du pin à crochets et celui de la prairie alpine. Deux types de formations végétales ont colonisé ce milieu : la chênaie et la hêtraie.

a - La hêtraie : Le hêtre qui n'était apparu jusqu'alors que de façon sporadique constitue à partir du Salazar de belles forêts qui garnissent les pentes jusque vers 1 500 m d'altitude. Mais plusieurs faciès doivent être distingués en fonction des nuances du climat et du sol.

- Sur les montagnes cantabriques, un climat toujours frais, des pluies fréquentes favorisent le lessivage et l'acidification des sols. On a alors des hêtraies pauvres à sous-bois de "*Deschampsia flexuosa*" et "*Digitalis purpurea*" dans les clairières. Ces hêtraies pauvres appartiennent à l'alliance Luzulo-Fagion, ordre du Blechno Fagetum (P. Montserrat-Recorder, 1966).

- Une autre hêtraie pauvre garnit la partie est de la Sierra de Urbasa. Là, sur un substratum de calcaires durs, fortement karstifiés, pratiquement dépourvu de sol, la hêtraie ne survit que grâce à une humidité atmosphérique très élevée.

- Enfin, les sols calcaires ou marneux suffisamment profonds de la Province de Navarre, portent les plus belles hêtraies des Pyrénées méridionales : 75 000 ha au total. Dans ces forêts, le hêtre est accompagné de plantes de la chênaie submontagnarde : en particulier "*Quercus petraea*". On y trouve encore des ormes, des frênes, des tilleuls, divers érables, des sorbiers, noisetiers... Il s'agit donc d'une formation très riche rappelant le Fraxino-Carpinien, et qui contribue puissamment à l'édification d'un sol forestier.

b - La chênaie : Le chêne présente lui aussi des faciès variés liés à des conditions de milieu différentes :

- Le climat frais et humide du versant cantabrique favorise une chênaie acide à "*Quercus robur*" évoluant par dégradation en une lande à "*Ulex europaeus*" et "*Ulex gallii*".

Sur sol encore acide et humide, mais en atmosphère trop sèche pour admettre le hêtre, se développe le Fraxino-Carpinien, chênaie de *Quercus robur*, mêlé de frênes, tilleuls... Essartée, cette forêt cède la place à une lande à "*Ulex europaeus*" et "*gallii*", "*Arctostaphylos*" raison d'ours, "*Erica vagans*", "*Brachypodium pinnatum*". Contrairement aux formes de dégradation des chênaies et pinèdes des Pyrénées centrales, ces landes recouvrent totalement le sol et ont un fort pouvoir de rétention sur les eaux de pluie.

3 - C'est un paysage tout autre, et des conditions bien différentes que nous trouvons à l'autre extrémité de la chaîne, au long de la vallée du Sègre par exemple. C'est ici désormais, le

domaine de la montagne méditerranéenne.

- La forêt méditerranéenne de chêne vert y monte très haut, jusqu'à 1170 m d'altitude sur les "Solanas" de la Cerdagne (mais seulement 850 m en "Ubagà"). Plus encore qu'en Aragon, il s'agit d'une forêt dégradée sur sol squelettique, laissant fréquemment apparaître entre les touffes épineuses du kermès la roche calcaire du substratum.

- l'étage suméditerranéen est essentiellement constitué par *Q. Pubescens* que l'on trouve jusqu'à 1300 m et même 1350 m en Andorre.

- Dans l'étage montagnard, le hêtre qui joue un si grand rôle dans les Pyrénées atlantiques est pratiquement éliminé par la sécheresse. Il ne constitue que de petits peuplements sur les sommets de la Sierra del Cadi.

De même le sapin (*Abies pectinata*) tient ici peu de place. Il n'est guère représenté qu'en Andorre vers 1600 ou 1700 m selon l'exposition. On en trouve aussi quelques exemplaires dans le Puigmal, le long du ruisseau d'Alp.

L'essentiel de l'étage est occupé par le pin sylvestre. Il constitue en effet les forêts qui garnissent les pentes encadrant au N. et au S. la Cerdagne espagnole.

- Le haut bassin du Sègre, en territoire français relève de l'étage subalpin, tout comme les versants des vallées d'Andorre. On retrouve ici les mêmes conifères d'altitude que dans les Pyrénées centrales : *Pinus uncinata*, le pin à crochets, qui s'élève jusqu'à 2200 m environ.

Au-dessus de 2200 m c'est l'étage alpin, constitué d'abord dans la zone de transition par des associations buissonnantes à Ericacées et rhododendrons, puis par la prairie alpine. Conséquence de cette morphologie de plate-forme largement développée dans les Pyrénées orientales, la prairie revêt assez souvent une forme particulière, celle de prairie mouilleuse. On la trouve par exemple sur le Campcardos et surtout le Carlit. Là, sur des sols acides à humus spongieux, se développent des hygrophiles : Carex et Ericophores en particulier. Lorsque le sol perd de son humidité, s'installent des bruyères (*Calluna vulgaris*) et l'airelle des marais (*Vaccinium uliginosum*).

Ainsi, de l'Ouest à l'Est, et du pied aux sommets de la chaîne, les modifications de la couverture végétale entraînent des changements considérables dans les modalités de l'écoulement.

Sous le couvert forestier dense de la moyenne montagne océanique, les sols bien protégés sont relativement épais, dotés d'un horizon humifère important qui favorise la percolation. Ce caractère, joint à une morphologie moins tourmentée que dans les Pyrénées centrales agit dans le sens d'une modération des phénomènes hydrologiques extrêmes.

Au contraire, le climat méditerranéen qui règne sur les Pyrénées orientales et tout l'étage collinéen de la chaîne, détermine une végétation de type sclérophylle, formée d'espèces à feuilles dures, peu propres à la fabrication d'une grande quantité d'humus. De plus, l'insertion de l'homme dans ce milieu fragile a contribué à dissocier la couverture végétale et conduit au développement d'une formation très ouverte, incapable de retenir les sols

et de freiner le ruissellement lors des averses méditerranéennes.

B - LE SYSTEME IBERIQUE : UN MILIEU DE MONTAGNE MEDITERRA-
NEO-CONTINENTALE -

Etiré du NW au SE, du voisinage de l'Atlantique à celui de la Méditerranée, le Système Ibérique est soumis à des influences climatiques nuancées, mais qui ont presque toujours en commun un même caractère de continentalité. Seule les versants N et NW de l'ensemble Demanda-Urbion et du Moncayo, exposés aux effluves océaniques, constituent en quelque sorte des enclaves atlantiques au coeur du monde ibérique. Ainsi, la face Nord du Moncayo présente l'étagement suivant : A la base et jusque vers 800 à 900m: le chêne vert. Au-dessus, "*Quercus toza*", bien développé autour de 1000 m. Vers 1500 m, les pentes sont recouvertes par une belle hêtraie, surmontée vers 1700 m d'une pinède de pin sylvestre. Au-delà, c'est la lande à genévrier nain.

Sur les reliefs de la partie SE du Système, moins élevés et au caractère continental plus accusé, l'étage supérieur de la lande disparaît le plus souvent. Les sommets et les ubacs sont occupés par des pinèdes de pin sylvestre surmontant parfois un étage de pins noirs. A la base, et jusque vers 1000 à 1300 m, des formations ouvertes de chênes subsistent parfois, très dégradées, dans les zones inaccessibles à la culture. Là où celle-ci a pu s'installer, dans les hautes vallées du Jiloca ou du Guadalupe par exemple, les champs de céréales s'étendent à perte de vue dans une

campagne ouverte au relief très atténué et sans aucune trace d'arbre si ce n'est au long des rivières citées. Après la moisson, la sécheresse limitant la croissance des thérophytes caractéristiques des chaumes, c'est un paysage lunaire qu'évoquent ces étendues dénudées.

C - LE DOMAINE MEDITERRANEEN PUR -

Il est ici très réduit du fait du resserrement brutal du bassin vers l'aval, et de la dégradation rapide du climat vers l'intérieur. Cependant, plusieurs paysages végétaux se côtoient dans cet espace relativement réduit .

Etant donné la nature siliceuse du sol, et la nuance particulière que prend ici le climat méditerranéen, une nuance relativement chaude et humide, la végétation revêt au voisinage de la mer un caractère de maquis thermophile. C'est une formation relativement dense où les pistachiers jouent un rôle important dans l'étage arbustif, et où la nuance thermophile est soulignée par la présence du palmier chamerops. Cette végétation a disparu de tous les endroits cultivables, fonds de vallons ou terrasses alluviales, pour céder la place aux cultures : vignes et oliviers dans les secteurs non irriguables, vergers et en particulier orangeraias sur les terrasses de l'Ebre. De toutes façons, il s'agit de cultures qui nécessitent une élimination des "mauvaises herbes" et tendent ainsi à dénuder le sol et à faciliter le ruissellement.

Lorsqu'on s'éloigne de la mer, vers les dépressions

intérieures bien abritées, la densité de la végétation diminue rapidement en même temps que diminue l'humidité atmosphérique et la lame d'eau. Le sol, moins protégé est alors rendu plus vulnérable aux orages méditerranéens. De même se trouve favorisée la brutale mise en charge des ravins normalement à sec.

Enfin, les hautes serres, qu'elles soient taillées dans du calcaire pur (Massif du Caro), des calcaires dolomitiques ou des poudingues, présentent un aspect dénudé. Le sol est emporté par l'érosion, la végétation est rare. Seuls quelques pins (p.d'Alep) ou quelques chênes verts ont réussi à prendre pied dans les fentes de la roche, accompagnés selon la nature du substratum de quelques représentants étiés de la garrigue ou du maquis.

D - LES MILIEUX DE LA DEPRESSION CENTRALE -

La Dépression Centrale constitue un milieu de vie difficile pour la végétation. Déjà le climat méditerranéen, par la faiblesse de la lame d'eau et sa concentration dans le temps, par le rythme des températures et surtout la discordance entre les rythmes pluviométriques et thermiques impose à la végétation des conditions assez défavorables. Celles-ci se trouvent aggravées en Aragon par la continentalité qui affaiblit encore la pluviosité, accentue les froids hivernaux et les contrastes thermiques. C'est encore la continentalité qui détermine ce phénomène climatique d'importance primordiale : l'inversion thermique. Celle-ci affecte en hiver le fond de la cuvette jusque vers 300 à 400 m d'altitude

et entraîne un bouleversement dans la zonation altitudinale des formations végétales.

A cette influence déterminante du climat se superpose celle de l'homme. Par les déboisements intempestifs auxquels il s'est livré depuis le Néolithique, par la mise en culture de vastes secteurs, l'homme a fortement contribué à la formation des paysages actuels.

Parmi ces paysages, le plus développé, le plus original est sans conteste, la steppe aragonaise, magistralement présentée par J. Braun-Blanquet (1957) qui l'a définie comme "un îlot africain sur la terre européenne". Nous nous contenterons d'en rappeler les principaux aspects en nous efforçant de nous situer dans une perspective hydroclimatique.

Trois formations climatiques souvent très dégradées, disposées de façon concentrique autour du triangle Saragosse, Monegro, Caspe, ont donné trois types de paysages sensiblement différents

1° / Les bords de la cuvette, au-dessus de 700 m d'altitude relèvent du climat méditerranéen submontagnard. Mais il s'agit là déjà d'une zone fortement marquée par l'aridité. Les modules pluviométriques ne dépassent guère 500 mm par an et dans le sol, le déficit hydrique s'étend sur 3 à 4 mois. Le paysage végétal est ici une sorte de garrigue résultant de la dégradation, par surpâturage, de la forêt primitive de chêne vert. Signalons qu'il s'agit d'un chêne vert un peu différent de celui qui peuple les garrigues lan-

guedociennes. La "*encina carrasca*" aragonaise est en effet un "*Quercus ilex*" plus xérique que celui du Midi français, et appartenant à la sous-espèce "*rotondifolia*". Au stade régressif, cette forêt primitive cède la place à une formation très couverte de kermès, auquel s'ajoute une rhamnacée : "*Rhamnus infectoria*". Quelques arbres isolés s'élèvent çà et là, témoins de l'ancienne chênaie d'Yeuse. Le sous-bois est plus pauvre que dans la chênaie languedocienne. On y trouve selon le cas l'"*Arctostaphylos*" ou raisin d'ours, ou une centaurée : "*Centaurea linifolia*". La strate muscinale, très réduite, augmente lorsqu'on approche des contreforts pyrénéens.

Les sols sont partout profondément dégradés par suite de l'action des hommes et du surpâturage. Le plus souvent, sauf sous le couvert des taillis assez épais, les horizons supérieurs, biogéniques, ont été emportés. La faible épaisseur de ces sols décapités, pauvres en humus, les rend peu aptes à retenir des quantités d'eau importantes. La pluie ruisselle d'autant plus facilement que la végétation n'exerce pas de freinage efficace.

Ce faciès est bien représenté aux environs de Huesca et sur le versant N de la Sierra de Alcubierre.

2°/ Les reliefs de la Dépression Centrale situés entre 350 et 700 m qui, par leur altitude échappent à l'inversion thermique, ainsi que la région de Caspe, appartiennent au domaine méditerranéen subaride. La pénurie hydrique s'étend en effet sur 6 mois tandis que le total pluviométrique annuel n'atteint pas 400 m. C'est ici le climax du pin d'Alep. Mais à l'exception de quelques

périmètres relevant des services forestiers, celui-ci n'existe qu'en forêt dégradée, d'aspect misérable, où il est associé à quelques touffes de chêne kermès. Les endroits les plus favorables, en particulier la région de Caspe, où les oscillations climatiques sont moins sévères qu'au centre de la dépression sont des zones de refuge pour certaines espèces ligneuses méditerranéennes comme les pistachiers (lentisque et térébinthe), les *Filarias*, l'alaterne. On voit aussi apparaître quelques plantes plus thermophiles comme le ciste du Liban, le globulaire (*G. Alypum*), la coronille (*C. minima*)...

Dans leur état actuel, ces formations que l'on trouve souvent sur le rebord des "muelas", ne sont capables ni de protéger le sol contre l'érosion pluviale, ni d'empêcher lors des orages estivaux, la concentration rapide des eaux dans les "valles" qui fonctionnent alors comme des oueds africains.

3°/ C'est au centre de la dépression que les conditions sont les plus défavorables en raison de la fréquence des inversions thermiques, de la sévérité des températures extrêmes, aussi bien du côté du froid hivernal que de la chaleur estivale et enfin de la gravité de la sécheresse.

Cette région était autrefois le domaine du genévrier thurifère, seul arbre pratiquement avec le genévrier de Phénicie et *Rhamnus lioctides* à pouvoir supporter à la fois les rigueurs hivernales et la sécheresse intense de l'été. Ayant fait l'objet, très tôt, d'une exploitation intensive, le genévrier thurifère a presque disparu de la dépression de l'Ebre. Les quelques exemplaires, le plus souvent rabougris qui subsistent se trouvent loin des lieux

habités et de préférence dans des endroits difficiles d'accès. Nous en avons trouvé au coeur des Monegros à l'ubac de la Sierra de Alcubierre, et Braun-Blanquet signale leur présence dans la "Retuerta de Pina" et les environs de Monegrillo.

A la place de cette formation primitive plusieurs paysages végétaux se sont mis en place, en liaison plus ou moins directe avec l'occupation humaine.

a) Le paysage le plus profondément marqué par l'homme est celui des champs de céréales. La seule culture possible ici en l'absence d'irrigation, est en effet le blé, culture aux rendements aléatoires en fonction des conditions édaphiques (remontées de sel) et des fantaisies du climat. Celles-ci ont d'ailleurs entraîné l'adoption par les paysans de méthodes culturales proches du dry-farming, méthodes dont l'influence néfaste sur les sols et les modalités de l'écoulement n'est plus à démontrer. Cette pratique consiste en effet à mettre les champs en culture un an sur deux. Le reste du temps, les labours sont envahis par des plantes caractéristiques des associations messicoles. Il s'agit donc essentiellement de thérophytes à cycle végétatif relativement court et qui n'exercent qu'une protection très épisodique contre l'érosion éolienne et pluviale.

Dans les secteurs non cultivés, l'étage du genévrier thurifère est occupé par des paysages végétaux qui diffèrent essentiellement en fonction des conditions édaphiques.

b) Les sols squelettiques des pentes portent une garrigue

à romarin et arbrisseaux submontagnards, le Rosmarinetalia de J. Braun-Blanquet. Il s'agit d'une formation très ouverte, à l'aspect broussaillieux et relativement uniforme mais qui s'avère pourtant assez variée du point de vue floristique. On y trouve en effet d'abord le romarin et le lin (*linum suffruticosum*) qui donnent ici le ton. Il s'y ajoute des sauges, des centaurees, les hélianthes. En un mot, il y a là toutes les espèces de l'alliance du Rosmarinetalia Ericion du midi méditerranéen français, plus quelques autres encore que l'on ne trouve pas sur nos garrigues. Si cette formation est plus riche floristiquement que son équivalent français, elle est par contre, le plus souvent moins dense et moins couvrante. Aussi la dégradation du sol est-elle très avancée. Les particules de terre fine ont été emportées et souvent, entre les touffes d'arbustes rabougris, ce sont de véritables dalles de calcaire qui apparaissent ou bien des amas de cailloux. De l'Ebre inférieur à Tudela, du piémont pyrénéen au Somontano ibérique, ce paysage désolé s'étend sur des milliers de kilomètres carrés.

c) les terrains gypseux, abondants dans le bassin de l'Ebre possèdent une végétation très particulière appartenant à l'alliance du Gypsophilion (J. Braun-Blanquet, 1957). Celle-ci est caractérisée essentiellement par "*Onnidum tridentata*", et sur sol pierrieux "*hélianthemum squamatum*". Parmi les compagnes signalons une stipa (*S. barbata*, et une gypsophile (*G. hispanica*). L'ensemble forme un tapis végétal d'autant plus maigre et pauvre en espèces qu'on a affaire à un gypse plus compact.

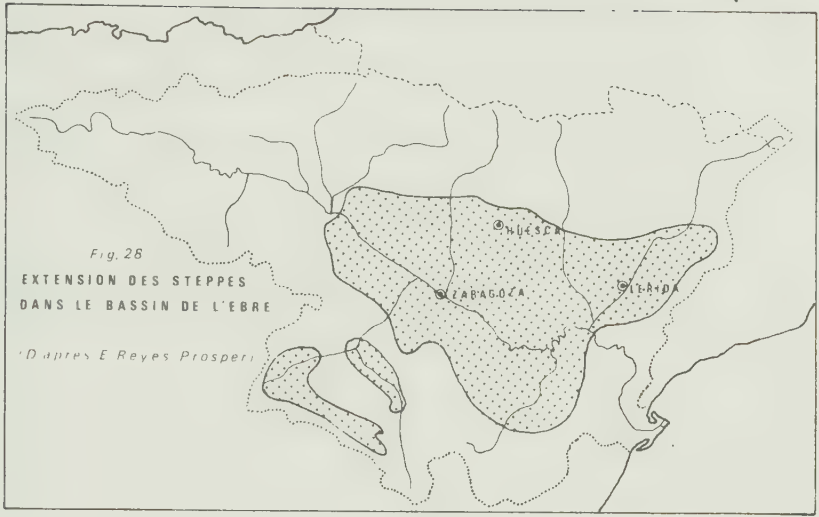
d) Sur les limons des bas-fonds se développent des sols

plus profonds qui portent selon leurs qualités chimiques des prairies de graminées steppiques ou des groupements d'aspect broussailleux comme le Salsolo-Peganetalia.

e) Comme dans tous les pays marqués par l'aridité, les sols sont ici riches en nitrates, d'autant plus riches que la charge pastorale est plus dense. Alors, là où les sols sont profonds et surtout si les terres ont été autrefois cultivées, s'installe une formation nitrophile originale, le "sisallar" des paysans aragonais qui doit son nom à la plante dominante le "sisallo" (*Salsola vermiculata*). Le "sisallar" est en effet constitué par les touffes hirsutes des *Salsola* entre lesquelles se glisse "*Peganum armala*", "*Artemisia herba alba*", une asphodèle et des thérophytes plus ou moins nombreuses parmi lesquelles des *Stipa* (surtout *S. parviflora* et *S. barbata*). Signalons une variante de cette association qui nous a semblé beaucoup plus étendue que ne le laisse supposer J. Braun-Blanquet : la formation à "*Retama sphaerocarpa*" que nous avons trouvée non seulement dans la vallée du Jalon comme l'indique cet auteur, mais encore en remontant le Gallego, vers Zuera, ainsi que dans certaines dépressions argileuses des Monegros, apparemment inondées lors des grandes pluies.

Lorsque le pacage diminue, et avec lui la fumure des sols, les *stipa* progressent aux dépens du "Sisallo". On va alors vers une nouvelle association : l'Eremopyro-Lygeion (J. Braun-Blanquet, 1957).

f) Les steppes à graminées de l'alliance Eremopyro-Lygeion constituent une des formations les plus originales de la dépression



aragonaise. Elles se développent dans la zone la plus aride de la cuvette, au coeur de cette région des Monegros créditée de 300 à 400 mm de pluie seulement, et sur des sols carbonatés fins, accumulés dans les lieux déprimés par les eaux de ruissellement et le vent. La photo ci-jointe prise début octobre, avant le déclenchement des pluies d'automne donne une idée de la physionomie de cette formation. Au-dessus d'un sol perméable et sec, de couleur brun-jaunâtre, s'élèvent des touffes de graminées xériques formant une prairie, haute de 50 cm environ. Cette prairie est constituée d'un bord de l'"Albardin" (*Lygeum Spartum*), de l'"*Eremopyrum*," et des diverses stipas (*parviflora*, *lagascae*, et *barbata* en particulier). Il s'y ajoute quelques plantes de l'alliance étudiée précédemment : "*Artemisia herba alba*" et "*Salsola vermiculata*." La photo nous montre encore que cette végétation, loin d'être continue est au contraire trouée de larges espaces nus où le sol apparaît.

Au printemps ou bien après les pluies d'automne lorsque celles-ci sont assez abondantes, des thérophytes de petite taille, presque tous d'origine africaine, garnissent ces intervalles. Citons "*Delphinium pubescens*", "*Malva aegyptia*", "*Micropus discolor*" etc...

g) Nous ne pouvons terminer cette étude sans signaler au moins la végétation halophile des nombreuses "saladas" qui parsèment la dépression centrale, et des efflorescences salines semblables à celle que nous avons photographiées près de Sariñena dans la partie N des Monegros. Là, sur des sols de type solontchak, se développe une végétation halophile appartenant à la classe des salicornes. Les représentants les plus fréquents sont "*Sueda fruticosa*"

et "*Limonium cratifolius*" accompagnés par une salsolacée annuelle endémique *Microrhenum corallitides*. Cette végétation se dispose autour de la lagune centrale en auréoles concentriques, organisées en fonction de la salinité et du niveau hydrostatique. La dernière auréole est généralement représentée par des joncs.

h) Bien plus importants sont pour notre propos, les peuplements du bord des eaux. Ceux-ci présentent des aspects variés en fonction du régime des rivières, de la nature chimique des eaux, et de la profondeur de la nappe phréatique qui détermine une véritable zonation de ces formations végétales.

A la limite entre le lit mineur et le lit majeur du fleuve mais dans la zone encore inondée, s'étire la bande des roseaux. Celles-ci prennent une particulière extension dans les bras morts de l'Ebre et les nombreuses îles qui accidentent le cours du fleuve et de ses principaux affluents. Elles sont assez pauvres floristiquement. Constituées essentiellement de "*Phragmites*", "*Thypha*" et "*Scripus*". Ces derniers nous intéressent particulièrement comme indicateurs des eaux chargées en sels minéraux. Nous les avons trouvés en peuplements presque purs dans la région de Pina.

En arrière, les atterrissements de sable et de limon inondés seulement lors des crues, sont souvent colonisés par la tamarigère (*Tamarix gallica* ou *africanae*). On sait que le "*Tamarix*", bien plus que le "*Scripus*" signalé ci-dessus est un végétal halophile. Rien d'étonnant à ce qu'en le trouve ici, dans ce pays où les terrains miocènes plus ou moins salins tiennent une grande place, et où les eaux sont par conséquent fortement chargées en chlorure de sodium.

Signalons que, du point de vue de la dynamique fluviale, roselières et tamarikaies jouent un rôle important en retenant les particules fines en suspension et en favorisant ainsi les atterrissements.

. Au-dessus de la tamarikaie, sur les atterrissements limoneux ou graveleux dominant de 1,50 à 2 m le niveau des eaux, s'étire en une frange étroite mais relativement continue, la peupleraie. Formation la plus spectaculaire du bord des eaux, elle souligne fidèlement le tracé des rivières et annonce de loin leur présence. Elle est constituée essentiellement de peupliers (*Populus alba et nigra*) et d'ormes, dominant un sous-bois plus ou moins dense selon qu'il est livré ou non au paturage. Normalement située au-dessus du niveau ordinaire, la peupleraie peut, en cas de crue, jouer un rôle important dans l'écoulement. Elle constitue alors en effet la première zone envahie par les eaux d'inondation, et elle exerce sur ces eaux une action de freinage d'autant plus efficace que le sous-bois est plus important. D'autre part, elle favorise à la fois l'infiltration et l'évapotranspiration. Elle agit ainsi favorablement sur la vitesse de propagation du flot et sur le déficit. Par contre, mal entretenue, elle peut fournir à la crue du bois mort, parfois même des troncs d'arbres, matériaux qui s'accumuleront au moindre obstacle favorisant ainsi la formation de ces embacles si dangereux.

CONCLUSION -

La couverture végétale et les sols qui lui sont associés

contribuer puissamment à diversifier les conditions de l'écoulement. En effet, la variété des climats et des roches de substratum entraîne le développement d'une gamme étendue de formations végétales, depuis celles qui caractérisent le monde océanique, jusqu'aux formations propres au monde subdésertique. Cependant, l'impression dominante est celle d'une grande faiblesse du couvert végétal. En effet, en dehors du monde cantabrique et des étages montagnards, pyrénéens et nord-ouest ibériques, partout ailleurs la couverture est discontinue. Cette situation n'est pas trop grave tant que les pentes restent faibles. C'est le cas dans une grande partie de la Dépression Centrale. Mais dès que la morphologie s'anime, dans ce milieu méditerranéen aux phénomènes météorologiques souvent violents, l'absence de protection entraîne une rapide dégradation des sols. On voit alors apparaître, sur les marnes du synclinal pyrénéen (bassin de Tremp et "Canal de Berdun") et sur les parties déclinives de la Dépression Centrale, de véritables paysages de badlands. Ailleurs, les sierras calcaires des Prépyrénées, de la Cordillère Catalane ou du SE de la Cordillère Ibérique, décapées par l'érosion, offrent un aspect de crêtes dénudées. Là où cette situation se conjugue avec un régime pluviométrique violent, les conditions idéales se trouvent réunies pour le développement d'une hydrologie de type torrentiel. C'est le cas essentiellement du Maestrazgo au Prieuré et sur le versant sud des Prépyrénées aragonaises et surtout catalanes.

SECTION VI - LE BILAN HYDRIQUE DES SOLS -

Grâce au magnifique travail réalisé par M. Liso Puente et A. Ascaso Liria (1969) sur l'évaporation dans le bassin de l'Ebre, il est possible de se faire une idée de la réaction des sols face aux données du climat, et des conséquences que peut avoir cette réaction en matière d'écoulement.

A - BILAN ANNUEL, POUR L'ENSEMBLE DU BASSIN -

1°/ La carte de l'évapotranspiration potentielle, réalisée par ces auteurs à partir de l'indice de Thornthwaite, nous montre que les valeurs annuelles de l'Etp oscillent entre 400 et 900 mm. Les valeurs les plus faibles se localisent sur le pourtour montagneux du bassin, dans des zones qui, du fait de leur altitude élevée ont des températures fraîches et des pluies fréquentes et abondantes, alimentant une humidité atmosphérique élevée. On sait que température et degré hygrométrique sont des facteurs importants de l'évaporation. Appartiennent à ce domaine à faible Etp (inférieure à 600 mm) : les sommets pyrénéens, les montagnes cantabriques, la crête du Système Ibérique dans sa moitié NW, et la Sierra de Gudar aux sources du Guadalope, 3 brèches importantes dans cette amorce de ceinture développée autour du bassin : la Cordillère Catalane, à l'Est, au climat méditerranéen, le haut bassin du Jalon dont on connaît la tendance continentale du climat, et, fait plus étonnant, entre Pyrénées et Cordillère Cantabrique, les montagnes

F R A N C E

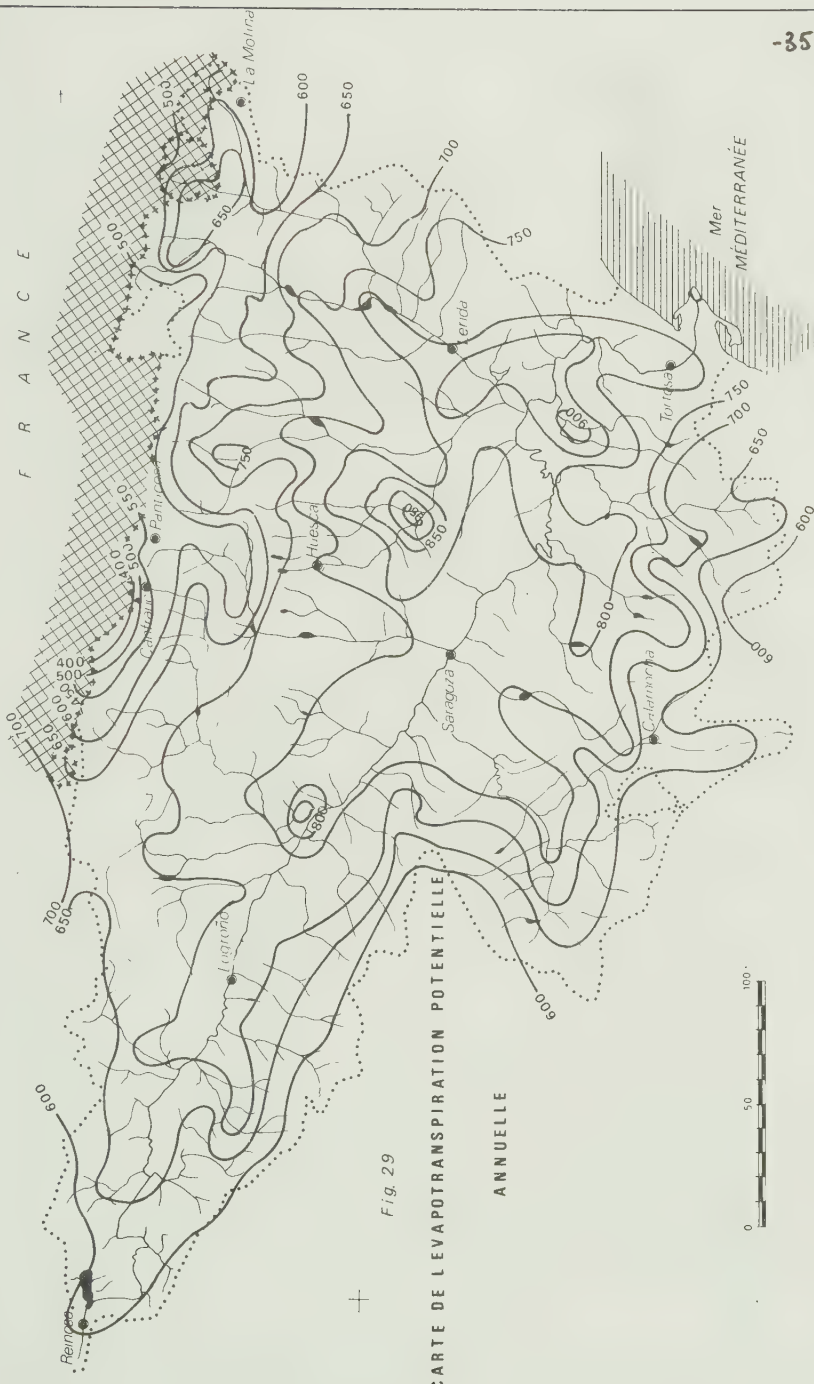
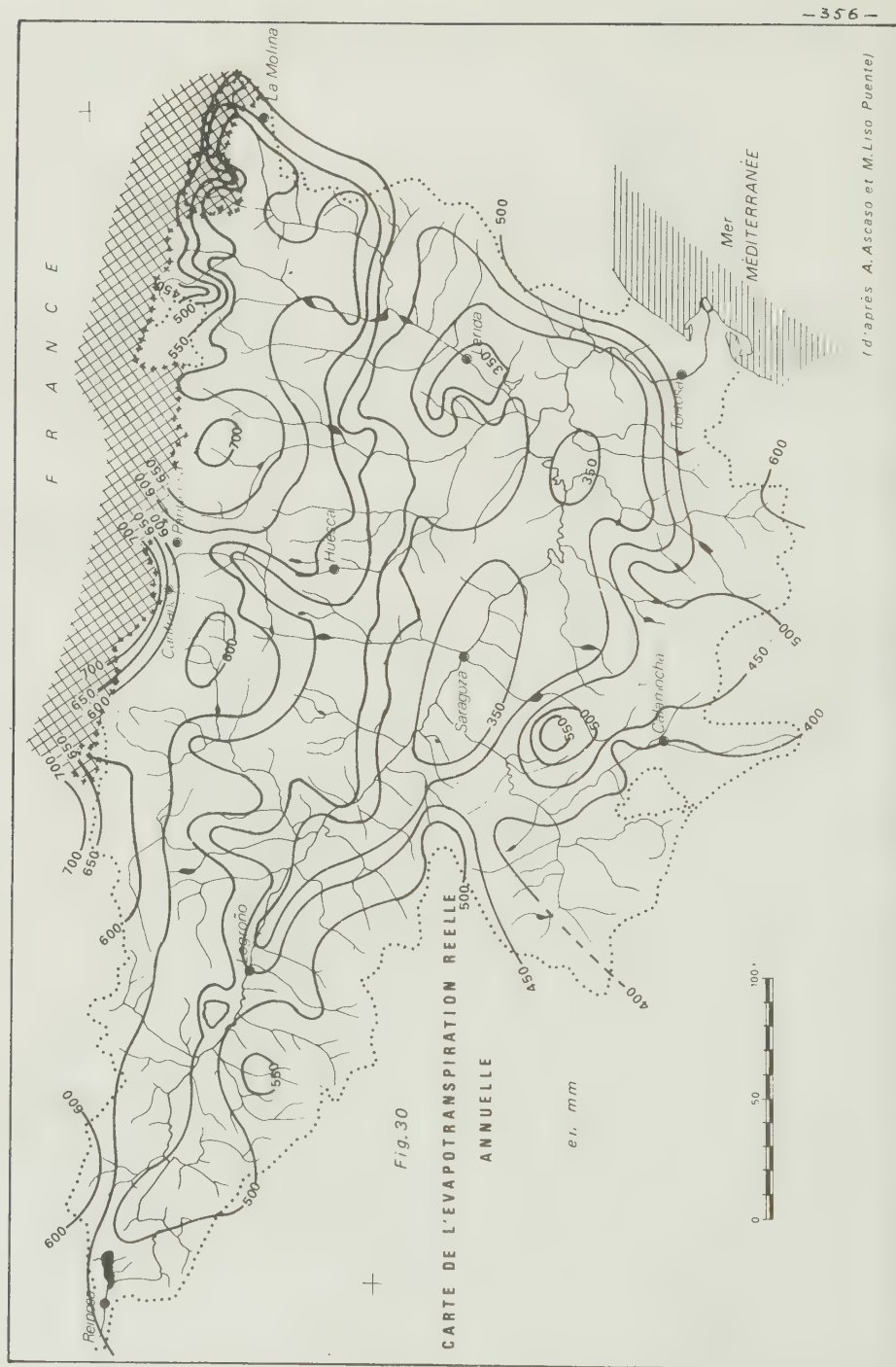


Fig. 29

CARTE DE LEVAPOTRANSPIRATION POTENTIELLE

ANNUELLE

d'après A. Ascaso Liria et M. Liso Puente.



basques, c'est à dire la zone la plus exposée aux influences océaniques. La responsabilité de ce phénomène incombe surtout aux températures hivernales dont la douceur maintient l'évaporation à un certain niveau.

En opposition avec le comportement des bordures montagneuses, toute la partie déprimée du bassin depuis "Las conchas de Haro" affiche des valeurs d'ETp très élevées, qui culminent à 900 et même 950 mm au N des Monegros, sur l'interfluve Sègre-Cinca, et à l'Est du "désert de Calanda". La puissance de l'évaporation est liée ici aux températures estivales, à l'action desséchante des vents, "Cierzo" mais aussi parfois "Bochorno", et au faible taux d'humidité atmosphérique qui en résulte.

2° / La carte de l'évapotranspiration réelle est presque le négatif de la carte précédente. Avec l'ETr, on a affaire en effet à un phénomène physique qui est fonction du pouvoir évaporant de l'atmosphère mais aussi de la quantité d'eau disponible, c'est à dire de la pluie. Aussi la supériorité appartient désormais aux régions bien arrosées : Pyrénées, reliefs vasco-cantabriques, ibériques (dans leur moitié NW), Sierra de Gudar, c'est à dire aux zones qui, sur la carte précédente affichaient les valeurs les plus faibles. Par contre si l'on compare non plus les valeurs relatives, mais les valeurs absolues, on constate que les cotes des isolignes sont à peu près les mêmes. Ici l'ETr est sensiblement égale à l'ETp, ce qui laisse prévoir un large excédent puisque la lame d'eau annuelle est élevée. Toutes ces régions au budget excédentaire vont jouer un rôle essentiel dans l'alimentation de nos rivières.

Au contraire, le bassin moyen et inférieur, où le pouvoir évaporant de l'atmosphère est maximum, constitue le milieu où l'évaporation réelle est la plus faible. En effet, il ne peut y avoir évaporation que dans la mesure où l'eau existe. Ici, le montant de l'ETR est à peu près égal à celui de la pluie.

L'ETp étant supérieure, un très grave déficit apparaît dans le bilan général.

3°/ L'étendue des surfaces à bilan négatif :

La carte du bilan hydrique annuel (fig. XI. HT) fait apparaître comme prévu l'opposition entre deux secteurs : un secteur de bilan positif, c'est le plus réduit puisqu'il ne représente qu'une mince bande de 40 km de large en moyenne le long du grand côté du triangle que constitue le bassin. Cette bande se continue sur 200 km environ le long du côté S correspondant au Système Ibérique, mais s'arrête au-delà des Picos de Urbion.

L'essentiel du territoire depuis la confluence de l'Oca et du Nela (c'est à dire encore dans le bassin supérieur) jusqu'à la mer, et du bassin de Yesa, ou de la haute Pallaresa aux sources du Jalon, du Jiloca ou du Guadalquivir, présente un bilan négatif. L'isoligne 0 qui limite cette zone se situe généralement entre 1000 et 1500 m soit un niveau qui nous paraît singulièrement élevé. A l'intérieur de cette zone, c'est encore aux confins du bassin moyen et inférieur, et dans les Monegros, que la situation est la plus grave. Là en effet, dans l'aire Fraga, Caspe, Alcaniz, Gandesa, puis autour de Sariñena au N des Monegros, ce déficit atteint 500 et même localement 600 mm. Voilà donc une région qui,

sans les Pyrénées et l'ensemble de la mince bande excédentaire décrite plus haut, serait vouée à un régime de type endoréique.

Ce bilan général nous masque des combinaisons saisonnières qui varient d'un milieu à un autre.

*B - BILANS HYDRIQUES SAISONNIERS DES SOLS DANS LES LIÉGÈ-
RENTES RÉGIONS CLIMATIQUES -*

- La région vasco-cantabrique est représentée ici par les graphiques de Reinosa et Vitoria. Malgré une température relativement fraîche, ces régions connaissent en été 2 à 3 mois de déficit, en raison de la faiblesse de la pluviosité. A partir de la mi-septembre, avec le retour de la pluie, les sols reconstituent leur stock hydrique. La saturation est atteinte dès novembre à Reinosa, soit en un mois et demi, un peu plus tard, en décembre, à Vitoria où les pluies sont un peu plus réduites. A partir de ce moment, il y a un excédent qui alimente l'écoulement. Cette situation dure jusqu'à la fin du printemps pendant 5 mois environ au cours desquels les rivières sont abondamment alimentées. Le maximum de cet excédent correspond à peu près au maximum pluviométrique, soit décembre-janvier. Dès le mois de mai ou même la mi-avril à Vitoria, l'élévation des températures (donc de l'ETp) et la chute des pluies mettent fin à cette période d'abondance. Désormais pendant 2 à 3 mois, les plantes vont vivre sur les réserves hydriques du sol, et les rivières sur celles des couches profondes et des nappes. Le stock superficiel épuisé, une période de déficit s'ouvre entre le

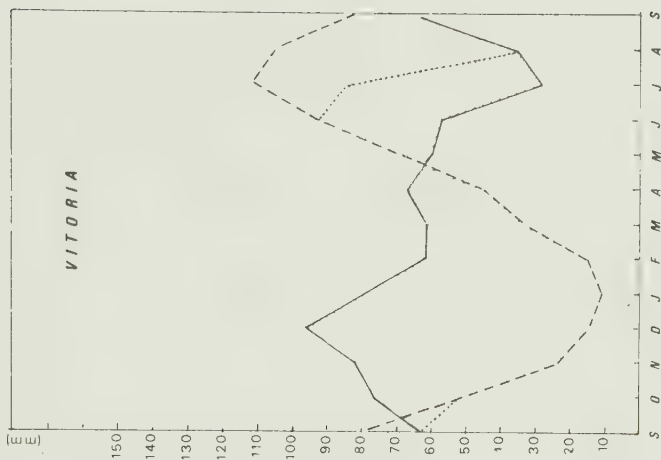
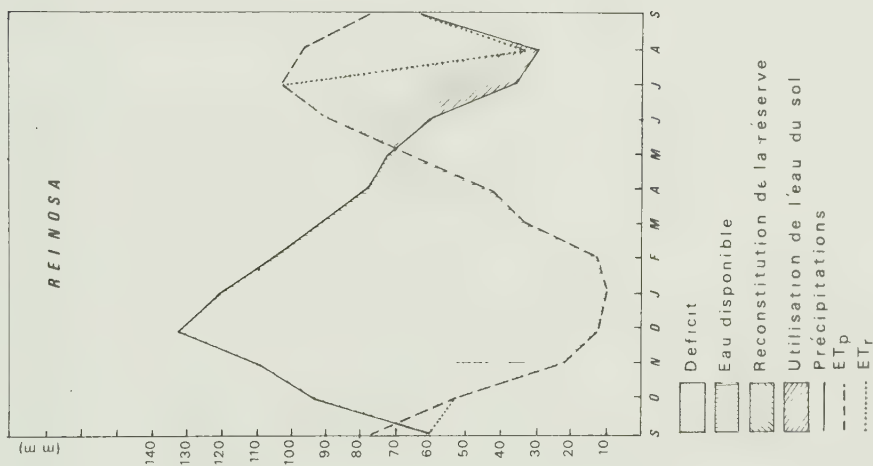
15 juillet et le 1er août, dont l'effet sur les nappes se fera sentir avec un certain retard puisque le maximum du déficit se situe en août tandis que le minimum pour les rivières de ce secteur est le plus souvent reporté à l'automne. Malgré cette petite déficience estivale, cette région reste excédentaire et tient ainsi une grande place dans l'alimentation du fleuve.

L'abondance est plus marquée encore dans les Pyrénées où il n'y a plus de déficit estival, mais seulement une courte période de 2 mois environ au cours de laquelle ETp et écoulement sont alimentés par les différentes réserves. Deux autres mois sont consacrés à la reconstitution du stock ; reste donc une période excédentaire de 8 mois étalée d'octobre à juin, avec maximum disponible en décembre-janvier à Panticosa, novembre-décembre puis mars-avril pour les stations des Pyrénées centrales et orientales où s'affirment les rythmes méditerranéens. De toutes façons ce maximum est en grande partie bloqué ici par la rétention nivale. Il sera libéré progressivement au printemps au moment où s'épuisent les stocks sur le haut bassin.

- Sur le versant opposé, celui du Système Ibérique, la situation est totalement différente. La période de déficit débute dès le mois de mai et ne se termine guère qu'en octobre ou début novembre, après 5 mois de grave pénurie. Les pluies hivernales, très faibles aussi bien sous le climat subcastillan de Calamocha que celui du Mas de las Matas d'affinité méditerranéenne, n'arrivent pas à saturer les sols. Il n'y a donc théoriquement aucune eau disponible pour l'écoulement. Les rivières, fort indigentes au demeurant de ce secteur, doivent leur alimentation essentiellement aux nappes profondes.

Fig.31: BILANS HYDRIQUES DES SOLS

I REGION VASCO-CANTABRIQUE



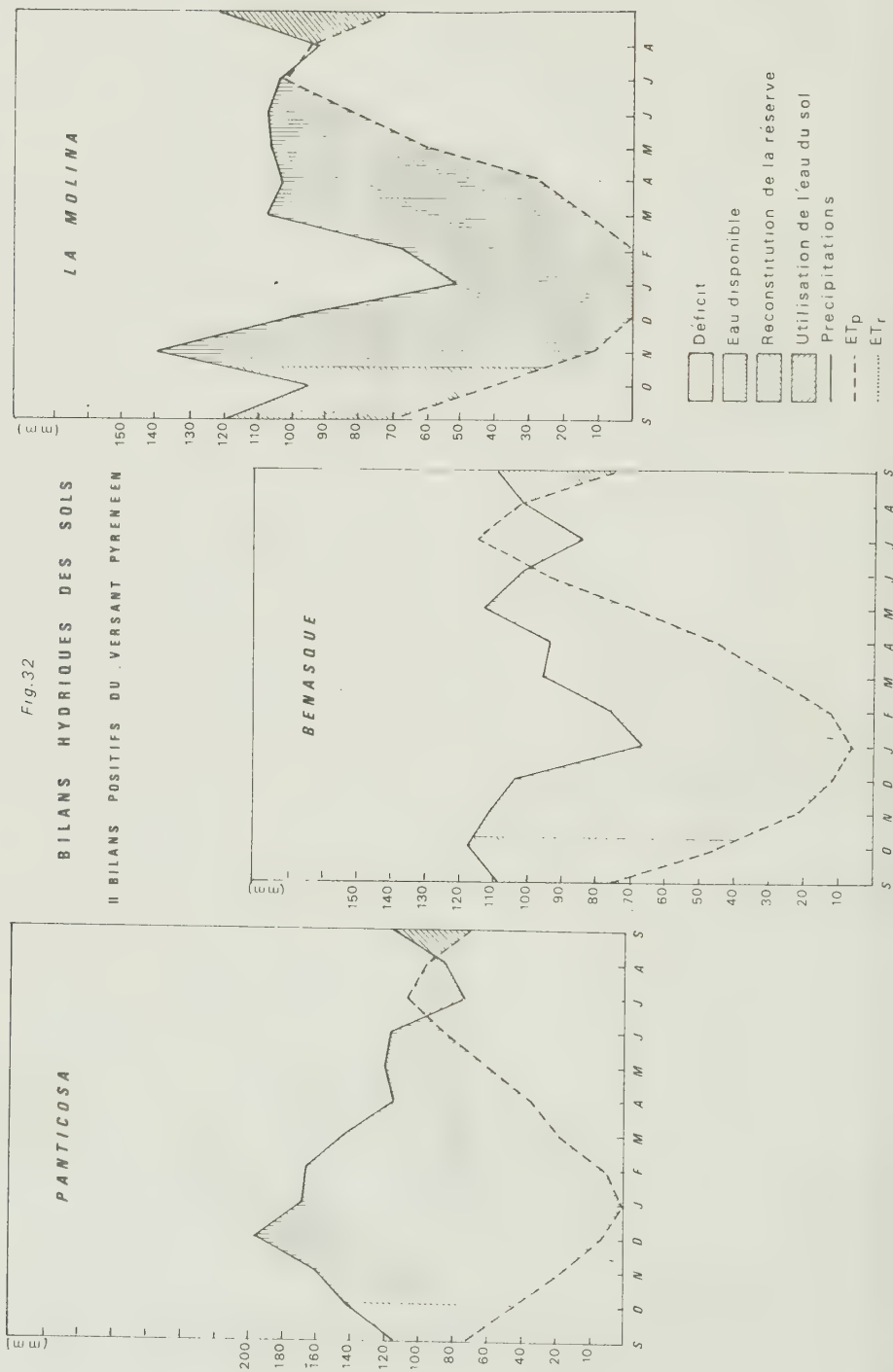


Fig.33: BILANS HYDRIQUES DES SOLS

III BILANS FORTEMENT DEFICITAIRE DU VERSANT N. DU SYSTEME IBERIQUE

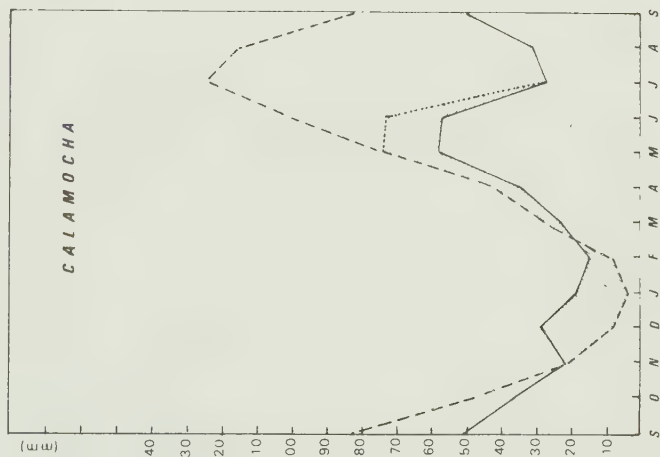
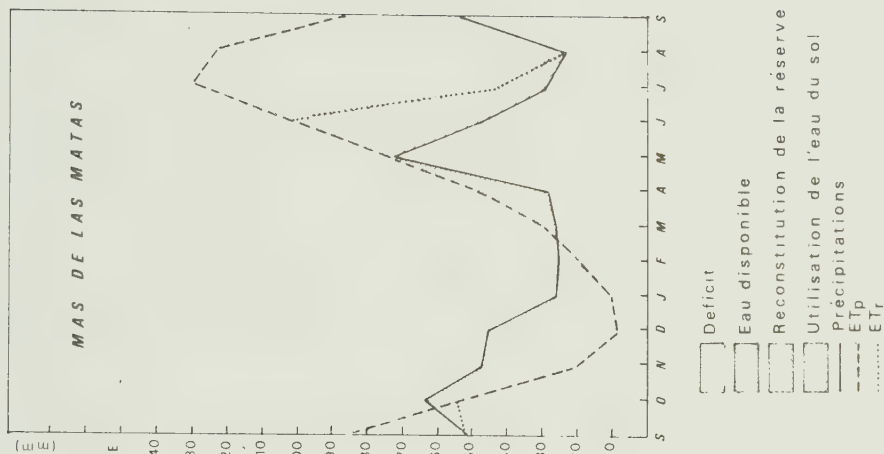
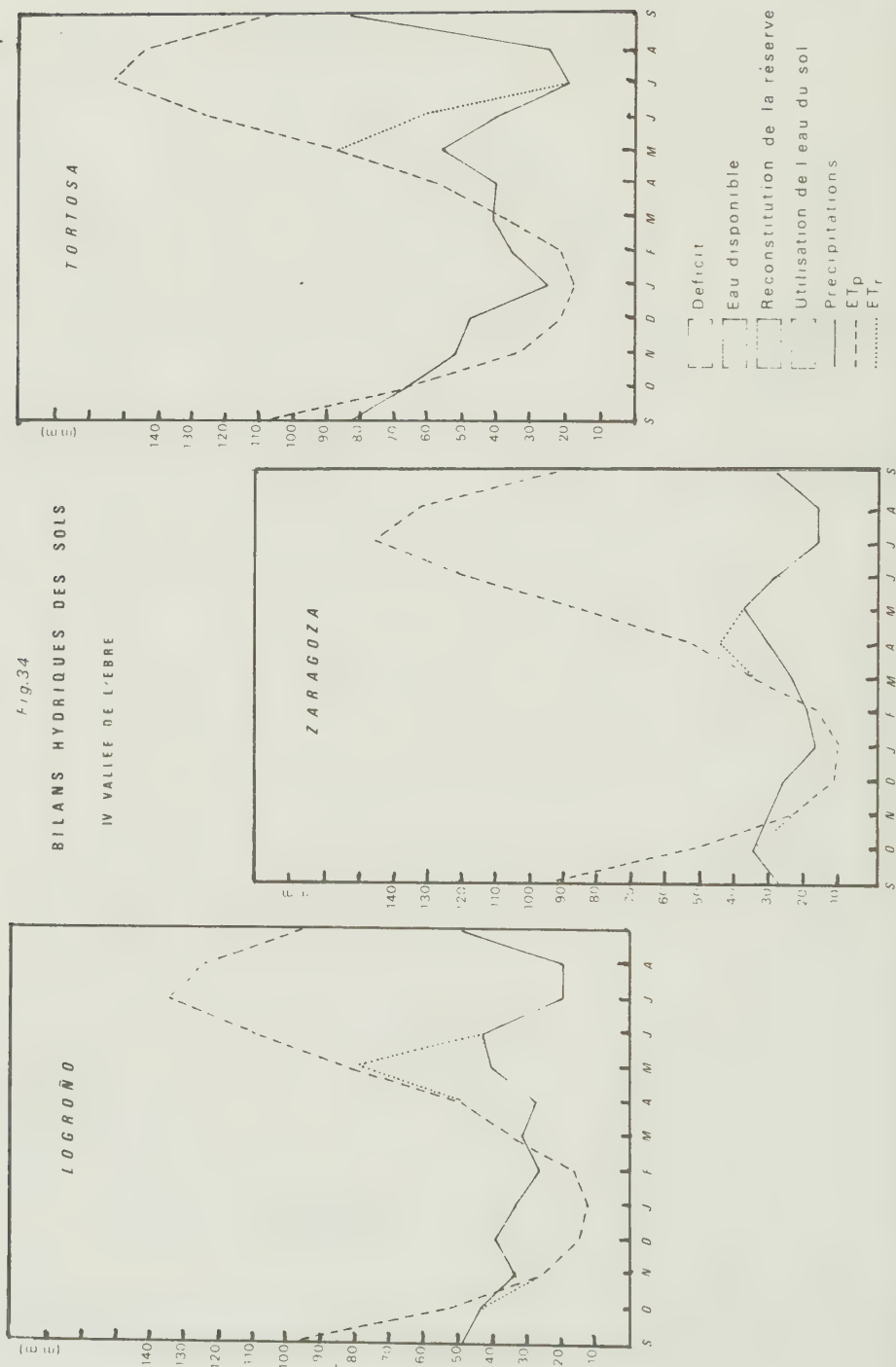


Fig.34
BILANS HYDRIQUES DES SOLS
IV VALLEE DE L'EBRE



Ces conditions qui sont à peu près celles de Logrono à l'amont de la cuvette aragonaise (1) s'aggravent encore vers le centre de la dépression médiane et le bassin inférieur. Les températures élevées qui régnent ici et la plus grande faiblesse des pluies estivales creusent le déficit en même temps qu'elles l'allongent. Celui-ci s'étend désormais de mars à octobre, sur 7 et parfois presque 8 mois, comme c'est le cas à Saragosse.

Aussi sauf dans les Pyrénées et la zone cantabrique, les conditions hydriques des sols ne favorisent guère une hydrologie abondante. On peut même prévoir une période de grave pénurie estivale que seules les rivières issues de la haute montagne seront capables de tempérer.

(1) Voir la parenté entre les graphiques de Logrono et de Calamocha.

CONCLUSION : LES DOMAINES CLIMATIQUES ET LEUR RÔLE DANS L'HYDROLOGIE DE L'EBRE -

L'étude des régimes de circulation et celle des éléments du climat nous a conduit sans cesse à distinguer au sein du bassin de l'Ebre des milieux divers dont on prévoit qu'ils vont jouer un rôle primordial dans la différenciation des domaines hydrologiques.

Ainsi, nous avons vu s'individualiser un secteur cantabrique où se combinent l'influence de l'altitude, celle des masses d'air océaniques et celle des masses d'air méditerranéennes. Les premières sont entraînées sur le pays par des flux d'W ou de NW, fréquents surtout en saison froide ; l'invasion de l'air méditerranéen se fait sous la forme de vents de SE à fort pouvoir hygrométrique, capables d'apporter la pluie jusqu'aux extrêmes limites du bassin. Ces vents se déclanchent au passage de perturbations d'origine méridionale.

Les modules pluviométriques sont assez élevés, et les précipitations tombent surtout en saison froide sous la forme de neige ou de pluie de type océanique, à faible intensité journalière. En été, l'apophyse cantabrique de l'anticyclone des Açores assure à cette région quelques périodes de beau temps. Mais l'altitude, la proximité de l'océan, empêchent les températures de s'élever. Le climat reste frais. En hiver par contre, les deux influences

devenant contradictoires, les températures ne sont jamais très basses, mais il peut neiger abondamment. L'humidité est constante aussi bien dans l'atmosphère, ce qui diminue l'évapotranspiration que dans le sol où il n'existe guère de déficit hydrique qu'au cours du mois d'août.

Ce sont là des conditions assez peu favorables aux excès hydrologiques. Cependant on a vu que, lorsqu'elles ont pour origine des perturbations de NW ou d'W 40, les pluies peuvent atteindre parfois des intensités élevées, en particulier au débouché des seuils basques. Comme en hiver, le sol est presque toujours saturé, on peut avoir des taux de ruissellement importants. Le plus grand danger pour les rivières de ces régions réside dans la succession assez fréquente d'une perturbation neigeuse de secteur N et d'une perturbation d'W 40 entraînant des pluies abondantes et rièdes qui peuvent emporter tout ou partie de la couverture neigeuse.

De par leur altitude, les Pyrénées constituent pour le bassin le meilleur écran de condensation. Cet écran fonctionne d'ailleurs presque en toutes circonstances. Seuls les courants de N ou voisins du secteur N, si efficaces sur le versant français, sont à peine ressentis ici. Aussi les modules pluviométriques sont-ils généralement très élevés, au moins dans la haute montagne ; car les Pyrénées constituent aussi le secteur où les contrastes spatiaux sont les plus importants. Du S au N, avec l'accroissement de l'altitude, on passe de la pénurie à l'abondance, tandis que de l'W à l'E l'évolution porte à la fois sur les modules et sur le régime saisonnier. Les Pyrénées occidentales ont surtout des pluies

de saison froide apportées par des flux océaniques d'W à NW. A l'Est, les influences méditerranéennes qui l'emportent déterminent un maximum d'automne lié à la virulence, au cours de cette saison, des perturbations d'origine méridionale.

Malgré une chute de la pluviosité en été (sauf dans les hautes vallées abritées sensibles surtout aux fronts froids de NE ou d'W qui provoquent de nombreux orages) aucun mois, en milieu montagnard ne souffre de sécheresse. En particulier, le bilan hydrique des sols ne fait apparaître nulle part de déficit, tandis que de nombreux mois disposent d'un excédent qui alimente l'écoulement. Mais le rythme de cet écoulement est profondément modifié par la rétention nivale qui mobilise les apports hivernaux pour les restituer progressivement au printemps.

Les Pyrénées présentent donc pour le fleuve un double avantage : celui d'être le principal fournisseur des débits, et celui de reporter vers la saison de pénurie l'écoulement d'une partie des précipitations hivernales. Par contre, elles peuvent constituer pour l'Ebre une source d'excès. Nous verrons en effet que la plupart des grosses crues ont pour origine des pluies intenses tombées sur les Pyrénées.

En matières d'économie de l'eau, les autres régions jouent un rôle essentiellement négatif.

La Dépression Centrale doit aux cordilières cantabriques et littorales, d'avoir en toutes circonstances une position "sous le vent". Il en résulte des lames d'eau extrêmement déprimées qui, associées à une chaleur estivale très intense, font de ce pays, pendant les mois d'été, une sorte d'annexe africaine. L'humidité

atmosphérique est le plus souvent très basse, aussi bien par temps de "Cierzo" où elle peut tomber à 20 % que lors des vagues de chaleur. Garcia de Pedraza (1964) a relevé le 11 juillet 1961 le taux record de 13 %. Dans ces conditions, le bilan de l'eau est largement négatif dans tout le bassin moyen, et ceci résulte d'un très fort, et très long déficit estival. Ainsi, non seulement cette région ne fournit guère de subsides au réseau hydrologique, mais elle prélève sur ce réseau des quantités considérables de liquide soit par évaporation, soit de façon artificielle, pour les besoins de l'irrigation.

La sécheresse est très semblable en ce qui concerne le versant ibérique dans sa moitié SE : même faiblesse des totaux annuels, même régime thermique desséchant, même déficit hydrique. Le rythme des phénomènes est encore à peu près semblable. La seule différence réside dans une continentalité plus accentuée, génératrice de températures hivernales plus sévères et d'un régime pluviométrique à maximum plus nettement estival.

-o-o-o-o-o-

DEUXIEME PARTIE

LE REGIME FLUVIAL

INTRODUCTION : L'EQUIPEMENT HYDROMETRIQUE DU BASSIN -

Dans un pays où l'eau est si précieuse, tant pour ses utilisations énergétiques qu'agricoles, on conçoit que la connaissance des cours d'eau, de leur abondance, de leur régime, ait été de bonne heure une préoccupation importante pour les hommes chargés de promouvoir l'économie. Aussi, dès le début de ce siècle vit-on apparaître sur les berges de l'Ebre et de ses affluents, les premières échelles limnimétriques. La toute première fut installée en 1905 à Flix. En 1906, l'Esera en recevait une à Olivéna. C'était le point de départ d'un équipement qui, à partir de 1912-13 et surtout 1930-31 devait connaître jusqu'à nos jours un développement et un perfectionnement quasi continu, que seule, la guerre civile devait interrompre pendant quelques années.

Trois organismes ont contribué à sa mise en place :

a) Organismes effectuant les jaugeages :

D'abord, l'Etat : en 1929, date à laquelle la Confédération de l'Ebre nouvellement créée, allait prendre en charge la réorganisation du réseau hydrométrique, l'Etat gérait déjà une trentaine de stations, assez succinctement équipées il est vrai. A l'exception de Arroyo sur l'Ebre supérieur, du Carcl et du Sègre à Puigcerda, dotés d'une section canalisée avec déversoir et limni-

graphe, toutes les autres consistaient en une simple échelle hydrométrique.

Les sociétés privées ou les sociétés d'économie mixte concessionnaires d'une certaine quantité d'eau ont installé très tôt, elles aussi, en liaison avec leurs ouvrages d'exploitation - barrages ou canaux - de multiples stations de jaugeages. En 1975, une quarantaine de stations relèvent ainsi d'organismes privés, sociétés hydroélectriques essentiellement. Nous citerons seulement les trois principales :

- L'ENHER, "Empresa Nacional Hidroelectrica del Ribagorzana", société mixte qui gère la quasi totalité de l'équipement hydrométrique du bassin de la Ribagorzana.

- La FECSA, "Fuerzas Electricas de Cataluna SA".

Le grand trust hydroélectrique des Pyrénées qui possède 40 % de l'équipement de la chaîne, localise ses activités dans la partie est de cette montagne, où il a équipé en stations de jaugeage la Pallaresa et le Flamisell, et une partie du Sègre (Lérida, Balaguer, Camarasa, Pons). Sur l'Ebre inférieur, en liaison avec le barrage de Flix, il gère le limnigraphe installé à l'aval de cet ouvrage.

- Enfin quelques stations du bassin supérieur et même des Pyrénées relèvent de la Cie IBERDUERO. Cette société créée par la fusion des "Saltos del Duero" et de la "Hidroelectrica Ibérica" en vue de l'exploitation du Douro a très vite débordé de son cadre traditionnel pour s'intéresser au bassin de l'Ebre. Elle contrôle aujourd'hui, par l'intermédiaire des stations du Nela, Oca, Jerea et de Palazuelos sur le fleuve, tous les apports qui alimentent le

réservoir de Sobron en amont de Miranda. Dans les Pyrénées, en liaison avec l'équipement hydroélectrique du haut bassin du Cinca - en amont d'Ainsa - elle a installé récemment 3 stations sur le rio Ara : Torla, Fiscal et Janovas, qui s'ajoutent à celle de Boltaña plus ancienne, une station sur le Cinqueta (Molino Gistain) et 2 sur le Cinca : La Fortunada et Escalona V.

- Mais le principal responsable du réseau actuel, c'est la "Confédération Syndicale Hydrographique de l'Ebre". Créée par décret du 5 mars 1926 en vue de coordonner l'action des différents syndicats de rivière et de leur donner les moyens de construire de grands ouvrages en vue d'une exploitation totale des eaux, la Confédération de l'Ebre devait très vite prendre une ampleur considérable et devenir un modèle pour les autres confédérations hydrographiques espagnoles : celles du Douro, du Tage, Guadiana, Guadalquivir, Pyrénées Orientales, Ségura et Jucar. Sous la direction de son ardent fondateur et premier président, Don Manuel Lorenzo Pardo, les fonctions de cet organisme se définissaient de la façon suivante :

- Etude et réalisation de travaux d'infrastructure hydraulique et d'irrigation pour le compte de la Confédération et pour le compte de l'Etat.

- Exploitation de canaux d'irrigation construits par elle et de ceux concédés par l'Etat.

- Réalisation d'études fondamentales nécessitant la mise en place d'un réseau hydrométrique, d'un réseau météorologique et d'un service statistique.

Depuis quelques années, ce dernier secteur est passé sous contrôle de la "Comisaria de Aguas" ou police des eaux, qui joue le rôle d'un représentant de l'administration auprès de la Confédération. Cet organisme comporte donc désormais un service hydrologique qui se charge en particulier :

- De la prévision des crues et de la mise en place d'un réseau d'alerte.

- De travaux d'écrouissage des crues.

- Du contrôle du niveau des barrages.

- Il gère en outre le réseau hydrométrique et un réseau météorologique propre, permettant de compléter dans certains cas les données de la Météorologie Nationale qui lui sont communiquées par la subdivision météorologique de l'Ebre.

- Enfin, il réalise des études de base des rivières, dans le but essentiellement de déterminer leur potentiel énergétique, et les volumes d'eau utilisables. Parmi ces études, signalons le très intéressant travail en cours de réalisation, sous la direction de Don José Luis Casas Marin, chef actuel de cette section, en vue de retrouver le régime naturel des rivières, c'est à dire le régime non influencé par les ouvrages techniques.

b) Les stations hydrométriques : historique.

C'est donc sous l'impulsion de ces trois catégories d'organismes que le réseau actuel a été progressivement mis en place, par étapes qui permettent de distinguer des générations de stations de jaugeage.

- La première génération date de 1912-1913. Cette époque a vu la mise en place des stations fondamentales : Miranda, Saragosse et Tortosa sur l'Ebre, Caparrosa, Yesa sur l'Aragon, La Seo de Urgel, Camarasa, Alos de Balguer, Lérida sur le Sègre, Cetina et Huermeda sur le Jalon, Alcañiz sur le Guadalope. En fonction de leur intérêt énergétique, certains sous-affluents pyrénéens sont alors équipés par les Sté hydroélectriques : Les Valiras, la Pallaresa, la Ribagorzana. Cette première génération est complétée entre 1918 et 21 par deux nouvelles stations sur l'Ebre : Méquinenza et Castejon, par celle de Fraga sur le Cinca, et les deux stations de Puigcerda : l'une sur le Carol, l'autre sur le Sègre supérieur.

En 1926, au moment de la création de la Confédération de l'Ebre il existait ainsi au total 145 stations appartenant soit à l'Etat soit à des organismes privés, mais il s'agissait comme on l'a vu d'installations pour la plupart rudimentaires et plus ou moins à l'abandon.

- En 1929, la Confédération de l'Ebre inclut dans son plan de travaux, la réorganisation du réseau hydrométrique. Il est prévu que ce réseau comprendra au total 247 stations, lesquelles seront équipées, chaque fois que la chose sera économiquement possible d'une section canalisée et d'un limnigraphe. Conformément à ce plan, tandis que les anciennes stations sont rénovées, deux nouvelles régions, jusqu'alors délaissées font l'objet autour des années 1931, d'un équipement systématique. Le versant ibérique d'une part, en particulier au NE du Moncayo (mais le bassin du Jalon, le haut Guadalope et le haut Matarranya ne sont pas oubliés pour autant)

et d'autre part les bassins supérieurs de l'Aragon et de l'Arga.

- Après un arrêt entre 1938 et 1944, l'équipement est complété et surtout rénové peu à peu au cours de la fin de la décennie et des années 1950, au fur et à mesure des besoins... et des possibilités.

La dernière génération est celle des années 1965-67. Elle voit la mise en place de limnigraphes dans les hautes vallées, à l'issue de bassins de réception de 50 à 200 km². Les rivières concernées sont alors les hautes Nogueras, le haut Arga, le Cinca et le rio Ara supérieur. Cet équipement vient heureusement combler une grave lacune. On regrettera seulement qu'il soit trop récent pour qu'on puisse encore utiliser le résultat des mesures.

c) Densité actuelle et caractéristiques des stations :

Grâce à cet effort continu, le bassin de l'Ebre était doté en 1969, date de la publication du dernier annuaire, de 149 stations (v. fig. XII HT) parmi lesquelles 71 étaient équipées d'une échelle, d'un limnigraphe et d'une installation permettant de faire des jaugeages directs, 28 possédaient une échelle, un limnigraphe et pour la plupart d'entre elles, un pont au voisinage permettant à l'occasion les jaugeages directs. Ceux-ci s'effectuant le plus souvent au moyen de moulinets.

Enfin parmi les 149 stations, 6 sont d'un type tout à fait particulier. Il s'agit de stations "virtuelles". Il existe d'ailleurs plusieurs catégories de ces stations virtuelles. Les unes correspondent à d'anciennes installations rendues inutilisables par

ennoient sous les eaux d'un bassin - Fayon sur l'Ebre - , ou par suite de déviation en amont - Barasona sur l'Esera -. Comme ces stations présentaient de longues séries qu'il était regrettable d'interrompre, on a préféré leur conserver une existence virtuelle. D'autres stations correspondent en réalité à un ensemble d'installations secondaires que l'on résume en quelque sorte en une seule, par exemple la station Esera-Reversiones qui comptabilise les eaux rendues à l'Esera au voisinage du confluent par 5 canaux différents. On ne doit pas oublier enfin que le bassin de l'Ebre déborde en quelques points sur le territoire français, en particulier en Cerdagne où naît le Sègre. Il appartenait donc à la 5ème CE d'équiper ce secteur. Trois limnigraphes furent donc installés respectivement sur l'Angoustrine en 1913, le Carol en 1921 et le Fontvive en 1960.

d) La diffusion des mesures :

Les résultats des mesures sont publiés dans deux annuaires :

- L'annuaire hydrologique espagnol qui paraît sous la dénomination de "Aforos""Regimen de los rios espagnoles". Il en existe à ce jour une cinquantaine de tomes. On notera au passage que ces recueils sont parmi les plus riches en données de tous les annuaires mondiaux, soutenant aisément la comparaison avec ceux de l'Allemagne, de l'Autriche, de la Hongrie, de la Norvège, du Japon, de la Russie, et mieux des Etats-Unis. Mais en ce qui concerne notre fleuve, seules sont publiées ici les données des stations fondamentales.

- La publication exhaustive des résultats s'est faite jusqu'en 1964-65, dans un recueil consacré au seul bassin de l'Ebre, sous le titre : "Aforos, anuario 19 , 19 . Cuenca del Ebro". L'intérêt de ces annuaires réside non seulement dans les données journalières qui apparaissent dans la page de droite de l'ouvrage, accompagnées de quelques autres renseignements d'ordre hydrométrique ou géographique concernant la station, mais aussi dans les études qui remplissent la page de gauche : énumération et études statistiques des modules depuis la mise en route de la station, hydrogramme de crue le cas échéant. Depuis 1964-65, sous la direction d'une nouvelle équipe, la conception des annuaires a quelque peu évolué. Chaque année paraissent désormais deux tomes : l'un, héritier des anciens annuaires, l'autre sous le titre de "Balance hidraulico de la cuenca del Ebro", nous offre le résultat d'études fort intéressantes visant à retrouver pour chaque bassin partiel et total, le régime naturel du fleuve, celui que l'on pourrait observer en l'absence des principales interventions humaines. Pour l'heure, seul a été calculé l'apport annuel naturel. On souhaiterait que puisse être entreprise un jour la détermination des apports mensuels naturels. Malheureusement, étant donné l'extrême complexité du problème, c'est là un travail qui nécessiterait une main d'oeuvre fort importante.

Ainsi conçu, le réseau hydrométrique constitue aujourd'hui un système cohérent et d'une densité suffisante pour réaliser, lorsque les séries des stations les plus jeunes seront assez longues, des études judicieuses. De plus, grâce aux annuaires, la documentation est aisément accessible, surtout depuis que les sociétés privées ont accepté de communiquer leurs données à l'organisme chargé de les centraliser et de les publier.

C H A P I T R E I

LES COMPOSANTES DU REGIME : LE RUISSELLEMENT AFFLUENT

ET L'ACTION DES HOMMES

La variété des conditions de l'alimentation et du ruissellement nous a fait prévoir une gamme importante de régimes. Il convient de préciser ici ces divers régimes en faisant ressortir le rôle spécifique de chacun d'eux dans l'alimentation du fleuve et dans son comportement.

SECTION I - L'ABONDANCE HIVERNALE CANTABRIQUE -

On a vu que l'Ebre recevait du monde cantabrique un certain nombre d'affluents auxquels l'effilement du bassin vers l'amont n'autorisait que des dimensions réduites. A peine plus d'un millier de km² pour les plus importants d'entre eux : Nela, Zadorra, Ega, quelques centaines de km² seulement pour le Jerea, le Bayas et l'Omeçillo. Malgré l'exigüité de leur bassin, ces rivières, situées dans une région bien arrosée, jouent dans l'alimentation du fleuve un rôle non négligeable. En effet, la lame d'eau moyenne

s'élève à 845 mm pour le bassin de l'Ega, 916 mm pour celui du Zadorra et l'évaporation est ici moins importante que dans bien d'autres secteurs du fait de températures plus fraîches et d'une humidité atmosphérique plus élevée. De plus, cette ambiance climatique rend le plus souvent inutile les grands travaux d'irrigation, de sorte que la consommation d'eau est relativement réduite. Au total, 0,3 m³/s environ au niveau de Miranda, 5 m³/s après la confluence du Zadorra. Par contre, il faut prévoir les irrigations de la Dépression Centrale et l'alimentation en hydroélectricité de la région. Les barrages créés dans ce but, en développant les plans d'eau, contribuent à élever un taux d'évaporation que les conditions atmosphériques tendaient à maintenir à des niveaux relativement bas. Les pentes jouent dans le même sens. On sait en effet que la vitesse de ruissellement est un facteur du coefficient d'écoulement. Or cette vitesse est ici rarement très élevée, étant donné la forme topographique dominante de ce secteur: la plate-forme. Il s'ensuit un ruissellement plus lent et un déficit plus important que dans les Pyrénées par exemple. Aussi, les coefficients d'écoulement ont-ils des valeurs modérées : 0,44 pour le Zadorra, 0,46 pour l'Ega. Dans l'ensemble donc, cette région est caractérisée par une alimentation pluviale abondante et des valeurs d'écoulement à mi-chemin entre celles de la haute montagne pyrénéenne, et celles, très faibles, du secteur ibérique.

Compte-tenu de tous ces facteurs, parfois contradictoires, les rivières sont relativement abondantes. Toute la partie amont, jusqu'à 300 km² de bassin versant écoule plus de 20 l/s/km². A partir de 1000 km² ces débits spécifiques tombent à 12 ou 15 li-

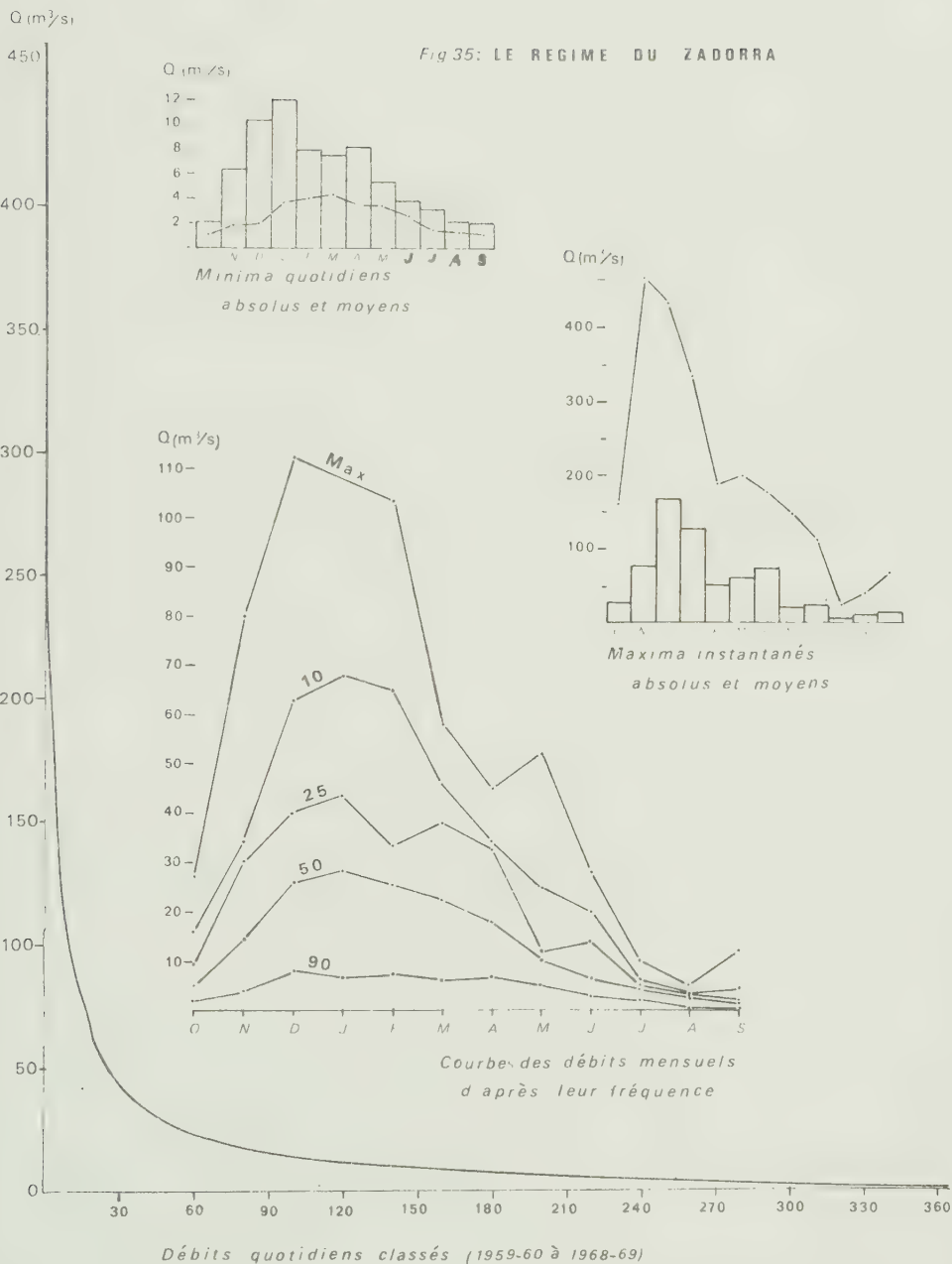
tres, valeurs encore assez importantes et que nous ne retrouverons que dans les Pyrénées et sur les pentes du massif Demanda-Urbion.

En valeur absolue, et du fait de l'exigüité des bassins versants les modules bruts restent modestes : 20 m³/s pour la plus importante de ces rivières : Le Zadorra ; 16 m³/s pour l'Ega. Mais au total, l'ensemble des cinq principaux affluents cantabriques apporte environ au fleuve 60 m³/s, le dixième du débit à Tortosa.

D'une année à l'autre, ces débits varient du simple au triple, ou au quintuple, selon les rivières. Mis à part le Nord-Ouest du Système Ibérique où les conditions de l'écoulement sont assez semblables, et les rivières voisines du réseau de l'Arga, ces chiffres sont parmi les plus faibles du bassin.

La plus grosse partie des volumes d'eau annuels est écoulee au cours des mois les plus froids : décembre, janvier, février, mars, avec un maximum de février le plus souvent, mais parfois de janvier, voire de décembre. Dans ce cas on constate (fig. 36 : graphique de l'Urederra et celui de l'Ebre à Arroyo) un 2ème maximum de mars. La pointe de décembre ou janvier est essentiellement pluviale, celle de mars, qui apparaît surtout à l'amont des rivières ou sur les organismes qui ont le bassin le plus élevé, est en partie nivale. Cette région en effet est abondamment enneigée en hiver, mais la faiblesse des altitudes et l'exposition aux souffles tièdes de l'Atlantique entraînent une fusion précoce. Entre les 2 maxima, un léger creux correspond à une rétention nivale de courte durée. A l'aval, le rôle de la neige passe au second plan. La pointe de février est essentiellement pluviale et corres-

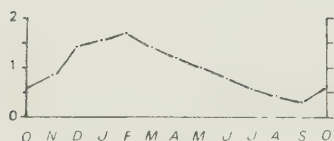
Fig 35: LE REGIME DU ZADORRA



384-

Fig. 36: VARIATIONS SAISONNIERES

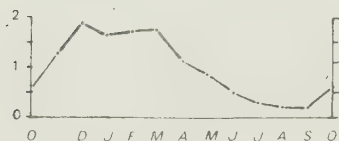
RIVIERES CANTABRIQUES



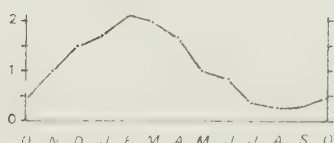
EGA: Merañon



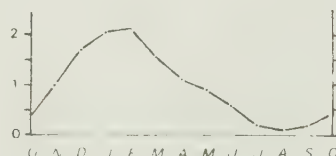
EBRE: Arroyo



UREDERRA: Eraul



EGA: Andesilla



ZADORRA: Arce

pond avec un mois de décalage dû au retard à l'écoulement, au maximum pluvial situé ici en janvier. Mais ce maximum est certainement renforcé par la fonte précoce des neiges de basse altitude.

Cette période hivernale est aussi celle des crues que l'on voit passer le plus souvent en décembre conformément aux paroxysmes pluviaux (v. fig. 18 : "décomposition en apports d'intensité donnée"), le retard à l'écoulement ne jouant ici que sur quelques jours ou même quelques heures. Assez fréquemment aussi, ces crues se déchaînent en janvier. Les courbes de maxima instantanés et moyens et la courbe de fréquence 10 % des débits mensuels, mettent en valeur cette étroite concentration dans le temps des paroxysmes hydrologiques. Seule la fin du printemps esquisse parfois une timide remontée, due à une légère recrudescence des pluies en mai-juin, écho attardé des averses de la Dépression Centrale.

A cette abondance hivernale, s'oppose une pénurie estivale assez remarquable, atteignant son paroxysme en août ou septembre, et même en octobre au cours de certaines années. Les coefficients de débit tombent alors à 0,12 sur le Zadorra, 0,24 sur l'Ega. On trouvera des chiffres semblables sur l'Ebre supérieur.

Ainsi les rivières cantabriques ont un régime simple, à deux saisons : une saison d'abondance, une saison de pénurie, qui se traduit graphiquement par une seule oscillation, mais bien marquée. Le gonflement hivernal est important tandis que le creux estival est relativement profond. Il s'ensuit un rapport des extrêmes assez élevé qui se situe derrière les coefficients d'irrégularité du Jalon et des rivières méditerranéennes.

Le monde cantabrique fournit donc au fleuve d'importants volumes d'eau, 1/6 du débit de Tortosa pour une surface qui représente le 1/12 seulement de la surface totale, et ceci d'une façon relativement régulière d'une année à l'autre. Par contre, ces débits sont mal répartis au long de l'année. L'essentiel est écoulé en hiver, à une époque où les besoins en eau sont peu importants et où le fleuve est bien alimenté tout au long de son cours. De sorte que le moindre paroxysme, surtout s'il entre en conjonction avec un gonflement de l'Aragon peut entraîner des catastrophes dans la vallée moyenne. Ces eaux hivernales sont donc non seulement inutiles, mais dangereuses, c'est pourquoi de grands travaux de régularisation étaient nécessaires afin de mettre en réserve ce surplus hivernal pour l'écouler à l'époque des plus grands besoins qui correspond justement avec celle de l'étiage. Mais le principal ouvrage est situé sur le fleuve lui-même. Nous n'en parlerons donc point ici. A l'exception du haut Zadorra, les rivières cantabriques ne sont pas perturbées par l'homme.

SECTION II - L'APPORT FONDAMENTAL DES PYRENEES ET LE ROLE DE LA

NEIGE -

"El Ega, el Arga, y el Aragon hacen el Ebro varon".

C'est aux Pyrénées et aux quatre grands affluents qui, de Roncevaux au col de la Perche en drainent les pentes, que l'Ebre doit d'être un des plus beaux fleuves de la Péninsule Ibérique, et

en particulier un des plus abondants. Ce rôle s'affirme dès les premières confluences de rivières pyrénéennes, en particulier celle du réseau Aragon-Arga, et ce fait est tellement frappant qu'il est depuis longtemps souligné par un dicton populaire bien connu au long de la vallée de l'Ebre et que nous citons ci-dessus.

A - L'ABONDANCE DES RIVIERES PYRENEENNES -

1°/ Un bilan d'écoulement avantageux :

Deux facteurs conditionnent cette abondance : la pluie dont nous rappellerons brièvement l'importance et l'écoulement, lui-même déterminé par une foule de conditions physiques et aussi humaines.

La pluviosité est partout importante : plus de 2 m d'eau sur les sommets, ce qui donne, pour les hauts bassins, des lames d'eau moyennes de 1000 à 1500, voire 1600 mm dans la partie centrale de la chaîne. C'est ainsi que le haut bassin du Cinca reçoit une moyenne de 1672 mm d'eau en amont de Ainsa. A partir de là, les chiffres diminuent, lentement vers l'Ouest, puisque le haut Arga reçoit encore 1300 mm, plus rapidement vers l'Est (1030 mm pour le Sègre en amont de La Seo de Urgel). Mais c'est surtout vers l'aval que cette diminution est rapide. Le cas du bassin du Cinca (v. Tableau XXIV) est typique à cet égard. Considérés dans leur ensemble, les cinq bassins pyrénéens de l'Arga, Aragon, Gallego, Cinca et Sègre affichent des lames d'eau moyennes échelonnées entre 980 à 1000 mm pour les plus occidentaux et 743 mm pour le plus oriental.

Entre ces deux extrêmes, la décroissance d'Ouest en Est est singulièrement régulière.

Or, une importante proportion de ces lames d'eau est écoulée. Le climat montagnard qui limite l'évaporation, la raideur des pentes qui favorise un ruissellement rapide, tendent à déterminer des coefficients élevés en amont. Par contre, les prélèvements à des fins agricoles qui ne cessent d'augmenter au fur et à mesure de la réalisation des plans d'irrigation, agissent en sens inverse. La répartition des coefficients d'écoulement, telle qu'elle apparaîtrait sur la carte du bilan hydrologique général et dans le tableau XXIV, reflète ces différents facteurs. A l'amont, l'écoulement est très importants : 80,90 et même 95 % des précipitations vont à la rivière. Cette proportion diminue vers l'aval en même temps qu'augmentent la température et les irrigations et que les pentes diminuent. Aussi, à l'aval des grands bassins, ces coefficients n'atteignent plus que 67 % pour l'Arga, chiffre encore remarquable, mais seulement 38 % pour le Sègre, et ici, on tombe à des niveaux beaucoup plus modestes. Nous ferons deux remarques au sujet de ces chiffres : d'abord, ils évoluent d'Ouest en Est, en fonction de la diminution de la lame d'eau et de l'augmentation des températures. Ensuite, ils sont artificiellement abaissés par les ouvrages humains : réservoirs qui augmentent les pertes par évaporation, et surtout canaux d'irrigation. Nous avons essayé de voir quel était l'impact de ce dernier facteur sur l'écoulement. Pour cela, nous avons calculé la lame d'eau correspondant aux débits dérivés, ce qui nous a permis de déterminer un nouveau coefficient que nous avons appelé coefficient d'écoulement naturel. Bien sûr, il ne

TABLEAU XXIV : BILANS D'ÉCOULEMENT DES RIVIÈRES PYRÉNÉENNES

B A S S I N S	S T A T I O N S	p (mm)	p' (mm)	$C = \frac{p'}{p}$	D	DI	CN
ARAGON	Arga	1 138	740	0,65	398	-	-
	Arga	981	643	0,65	338	18,8	0,67
	Aragon	1 378	1 103	0,80	275	-	-
	Aragon	1 098	560	0,51	538	244	0,75
	Aragon	1 000	452	0,45	548	92,7	0,54
GALLEGO	Garlego	951	590	0,62	361	-	-
	Gallego	934	524	0,54	410	139	0,70
CINCA	Esera	1 209	1 161	0,96	48	-	-
	Esera	1 000	756	0,75	244	-	-
	Cinca	1 650	1 286	0,78	364	-	-
	Cinca	1 169	760	0,65	409	-	-
	Cinca	765	304	0,40	461	65	0,48
SÈGRE	N. Ribagorzana	852	407	0,48	445	238	0,75
	N. Pallaresa	1 018	560	0,55	458	45,0	0,59
	Sègre	770	323	0,42	447	-	-
	Sègre	743	250	0,34	493	76	0,44

P : Pluie tombée (en mm). Obtenue par planimétrage des cartes annuelles d'isohyètes.

P' : Pluie écoulée.

C : Coefficient d'écoulement réel

D : Déficit $p - p'$ (en mm)

DI : Déficit résultant de la consommation d'eau.

CN : Coefficient d'évaluation naturel.

s'agit que d'une approximation de cette nature originelle, car les conséquences des aménagements humains sont complexes et difficiles à apprécier. Il ressort toutefois de nos calculs que les prélèvements techniques par les seuls canaux répertoriés représentent selon les bassins une lame d'eau de 55 à 165 mm. Ajoutée à l'écoulement réel des rivières, cette lame d'eau donnerait des coefficients nettement plus élevés : 0,44 pour le Sègre, le plus défavorisé, 0,49 et 0,56 respectivement pour le Cinca et l'Aragon, et 0,70 pour le Gallego, mais à Ardisa, c'est à dire assez loin du confluent.

2° / Compte tenu de tous ces facteurs, les rivières pyrénéennes jouissent d'une abondance assez remarquable :

- Les modules spécifiques sont - et de loin - les plus élevés du bassin. A l'amont, au pied des grands massifs, et pour des bassins de quelques dizaines de km², ils atteignent en plusieurs secteurs 50 l/s/km². C'est le cas sur le haut bassin du Cinca et de ses affluents Cinqueta et Ara, certainement aussi sur l'Esera - mais il faudrait une station aux environs de Benasque pour nous le confirmer - ; c'est le cas encore dans les secteurs les plus bas mais très arrosés du haut Arga et du haut Irati.

Ces valeurs soutiennent la comparaison avec celles que l'on observe sur le versant nord des Pyrénées, sans toutefois atteindre les records de plus de 62 l/s/km² affichés par les Nestes de Cap de Long et Clarabide à l'issue, il est vrai de 5 et 16 km² de bassin seulement. Il est à peu près certain que le haut Cinca dans le secteur de Pineta atteint ces chiffres. Un débit spécifique

de 60 l/s/km² représente en effet une lame d'eau annuelle de 1800 mm. Si l'on considère que le coefficient d'écoulement peut atteindre ici 90 %, on voit qu'il suffit d'un module pluviométrique de 2000 mm pour que ce débit soit atteint. Or, on constate sur la carte des pluies que les hauts massifs pyrénéens, même sur le versant espagnol, atteignent voire dépassent ce chiffre.

La situation est par contre bien différente dans les Pyrénées orientales où l'Angoustrine par exemple, à l'issue de 46 km² de bassin n'écoule que 25,7 l/s/km²

Pour des surfaces un peu plus étendues, les modules restent forts dans tout le secteur central et occidental : sur les Nogueras, le Gallego, le Cinca et ses affluents, et le réseau de l'Aragon. Là, l'écoulement reste supérieur à 30 l/s/km² jusqu'à l'issue de bassins versants de 800 km² environ. On a encore des chiffres de 20 litres et plus jusque vers 1500 km², parfois davantage, par exemple sur l'Arga et le Cinca qui conservent des modules de 20 et 24 l/s/km² jusqu'au delà de 2000 km² de bassin et apparaissent ainsi comme les rivières les plus abondantes des Pyrénées espagnoles. Ces chiffres sont comparables à ceux de la Garonne qui, à Valentine écoule 24,3 l/s/km² pour un bassin de 2230 km². Donc, au niveau des Pyrénées centrales, et pour des bassins ne dépassant pas 200 km², on ne peut pas parler d'une infériorité marquée du versant espagnol par rapport au versant français. Au-delà de 5000 km² de bassin, le Cinca et l'Aragon conservent encore une réelle abondance : 14,5 l/s/km² par exemple pour l'Aragon à Caparrós ; quant au Cinca, nous avons calculé qu'avant sa confluence avec l'Alcanadre, il devait rouler 83 m³/s pour 6000 km² environ, ce qui

TABLEAU XXVI : MODULES SPECIFIQUES DES RIVIERES PYRENEENNES.

TABLEAU COMPARATIF.

	SECTEUR OCCIDENTAL				SECTEUR CENTRAL			
S. des B.V.	Rivières	Stations	S. du B.V. (km ²)	Modules l/s/km ²	Rivières	Stations	S. du B.V. (km ²)	Modules l/s/km ²
Jusqu'à 100 km ²	Veral	Zuriza	47	43	Caldares	Ibon	35	46,2
	Arga	Eugui	69	56	N. de Tor	Caldas de Bohi	57	20,7
	Belagoa	Isaba	86	30,7	San Nicolas	Bohi	64	26,5
					Cinqueta	Molino Gistain	100	44,2
de 100 à 300 km ²	Veral	Binies	161	28	N. de Cardos	Lladore	137	36,6
	Erro	Urrozvillia	180	34	N. Ribagor- zana	Ginaste	149	47,5
	Irati	Arive	236	47,8	Ara	Torla	180	53
	Ulzama	Olave	240	30	N. de Tor	Liesp	225	44,8
					Aragon	Jaca	238	35,3
de 300 à 500 km ²	Salazar	Aspurz	396	22,4	Esera	Villanova	323	36,9
					A. Subordan	Javierregay	348	38,2
					Ara	Fiscal	425	39,8
					Cinca	La Fortunada	454	48,6
de 500 à 1000 km ²	Esca	Sigües	506	25,7	Alcanadre	Lascellas	501	7,4
	Araquil	Asiain	782	34,6	N. Ribagor- zana	Pont de Suert	568	31,5
					Ara	Boltaña	626	31,8
					Cinca	Ainsa	835	41,4
					Esera	Graus	893	24,1
de 1000 à 2000 km ²	Irati	Liedena	1546	24,8	Esera	Barasona	1511	20
	Arga	Eclauri	1756	23,7	N. Pallaresa	Talarn	1931	20
					Ribagorzana	La Piñada	1757	13
de 2000 à 5000 km ²	Aragon	Yesa	2191	17,8	Gallego	Ardisa	2040	16,7
	Arga	Peralta	2704	20,4	Cinca	El Grado	2127	24
					N. Pallaresa	Camarasa	2820	17,4
> 5000 km ²	ARAGON	Caparroso	5469	14,5	Cinca		6000	14
	ARAGON	Confluent	8520	15,8	CINCA	Fraga	9467	9,4

TABLEAU COMPARATIF

SECTEUR ORIENTAL				VERSANT NORD DES PYRENEES				
Rivières	Stations	S. du BV (km2)	Modu- les 1/s/km2	Rivières	Stations	S. du BV (km2)	Modu- les 1/s/km2	S. des BV
Angoustrine	Angoustrine	46	25,7	N. Clarabide	Lassoula	16	62	Jusqu'à 100 km2
				Ariège	Hospitalet	45	48	
				N. de Rioumajou	Maison Blanche	67	29,2	
				Pique	Ravi	87	42,6	
Carol Sègre	Puigcerda	140	23	Aude	Puyvalador	134	20,4	de 100 à 300 km2
	Puigcerda	297	10	G. d'Azun	Arcas	197	44	
				Adour	Aste	272	28,2	
				G. d'Aspe	Pt. d'Escot	425	53,6	de 300 à 500 km2
				Salat	Kerkabanac	383	42,7	
Valira	La Seo de U.	559	18					de 500 à 1000 km2
Sègre	La Seo de U.	1233	10	G. d'Oleron	Oleron	1085	42,7	de 1000 à 2000 km2
				Ariège	Feix	340	28,3	
Sègre	Orgaña	2373	13	Garonne	Valentine	2230	24,3	de 2000 à 5000 km2
				Gave de Pau	Bérenx	2575	27,2	
Sègre	Balaguer	7796	7,2	Adour	St. Vincent de Paul	7830	10	> 5000 km2
Sègre	Seros	12782	7,2	Garonne	Portet	9980	18,2	

représenterait 14 l/s/km². Mais si ces chiffres dépassent ceux de l'Adour, il faut signaler que sur la Garonne on les trouve au niveau de Malause, c'est à dire à l'issue de 3000 km² de bassin.

Tout ceci reste malgré tout très honorable.

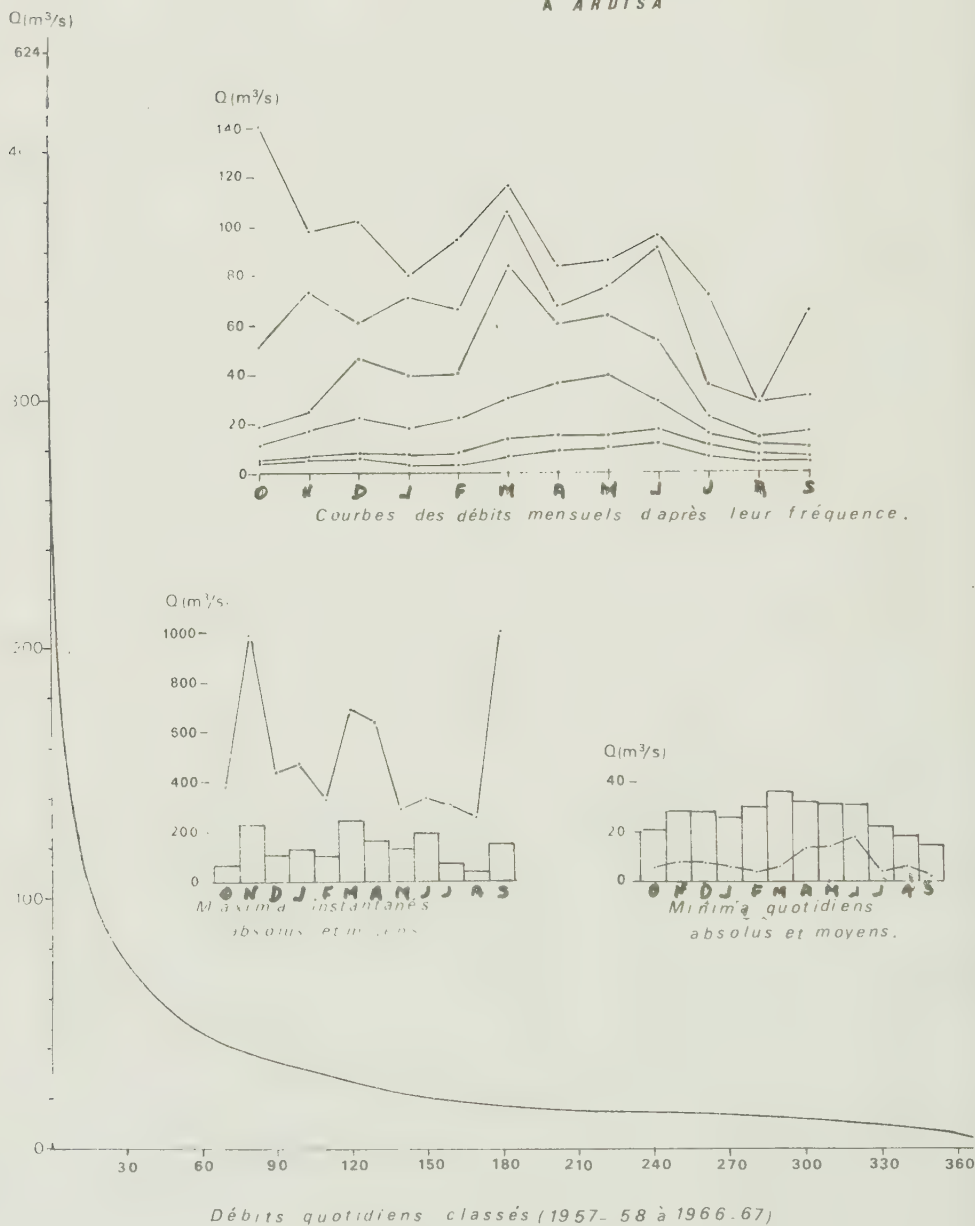
Par contre, la faiblesse du secteur oriental que l'on a vue se dessiner dans les premiers km² de bassin versant, se précise et s'accroît vers l'aval. A Puigcerda, le Sègre n'écoule déjà plus que 10 l/s/km². Renfloué momentanément par les Valiras, il affiche 13 l/s/km² à l'Orga, pour tomber rapidement à 9,2 à Pons et 6,1 à Alos de Balaguer. L'apport échelonné des Nogueras, pourtant bien alimentées au départ, ne redresse guère la situation car ces rivières sont fortement appauvries à l'aval par les utilisations humaines. De sorte que le Sègre n'écoule, au droit de Seros que 7,2 l/s/km².

A ce niveau, il est intéressant de comparer les cinq grands collecteurs pyrénéens : Aragon, Cinca et Sègre pour le versant espagnol, Garonne et Adour pour le versant français. La supériorité des rivières de versant nord, discrète en amont, et qui commence à se manifester au-delà de 2000 km² éclate alors nettement. Aux portes de Toulouse, la Garonne écoule encore 18 l/s/km² pour près de 10000 km². Pour des surfaces semblables, le Cinca, n'atteint pas 10 l. Plus favorisé grâce au renfort de l'Arga, l'Aragon débite encore à son confluent 15,5 l/s/km² mais pour 8500 km² seulement. Quant au Sègre, il est loin derrière puisque à Balaguer, pour une surface inférieure à celle du Cinca et de la Garonne à Portet, il ne dépasse pas 7,2 l/s/km².



Fig.38: LE REGIME DU GALLEGRO

A ARDISA



- Plus spectaculaire par contre sont les débits bruts ,

L'Aragon, grossi de l'Arga, apporte en moyenne à l'Ebre 135 m³/s : 56 en provenance de l'Arga, 79 de l'Aragon proprement dit, lequel doit son débit, pour moitié à l'Irati qui lui fournit 38,4 m³/s, pour moitié aux rivières drainées par la "Canal de Berdun". Ces dernières représentent au total 39 m³/s. Ainsi, contrairement à d'autres rivières comme le Sègre dont les affluents sont régulièrement échelonnés d'amont en aval, l'Aragon est constitué dès son cours moyen, et ceci par la jonction, au sortir du bassin de Yesa, du collecteur de la Canal de Berdun et de l'Irati. Il reçoit alors 77,4 m³/s. Pratiquement le même débit qu'à l'aval. Les quelques rares affluents qu'il reçoit entre ces deux points : Onseilla et Cidacos, ne servent donc qu'à compenser les pertes éprouvées dans la traversée du bas pays par évaporation, infiltration ou pompage.

Plus modeste que l'Aragon, le Gallego ne fournit que 34 m³/s. Il est vrai que c'est une rivière au bassin longiligne, privée de tout affluent important, coincée entre ses deux grands voisins : l'Aragon dont elle s'est affranchie par capture, et le Cinca.

Le Cinca, quant à lui, doit au fait de drainer sur une longueur de 75 km environ, les plus hauts massifs pyrénéens, d'être pour le volume des eaux roulées chaque année, le 2ème des affluents pyrénéens, immédiatement derrière le Sègre, au bassin pourtant beaucoup plus vaste. Le tiers de son débit : 30,3 m³/s est dû à l'Esera qui draine le versant nord de la Maladetta, et serait plus abondant encore sans les pertes fameuses qui détournent vers la Garonne une

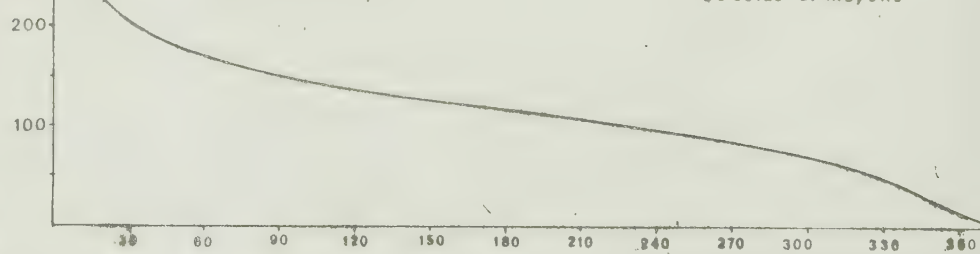
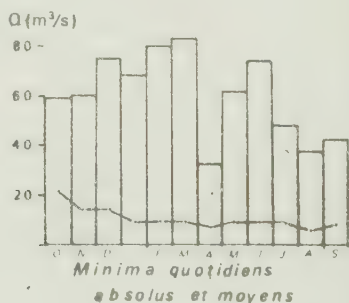
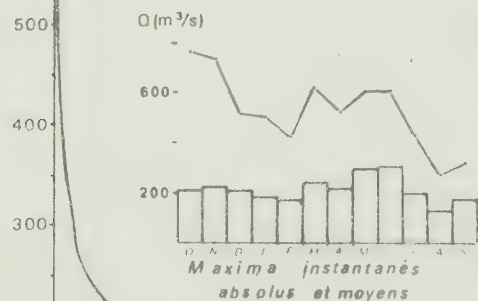
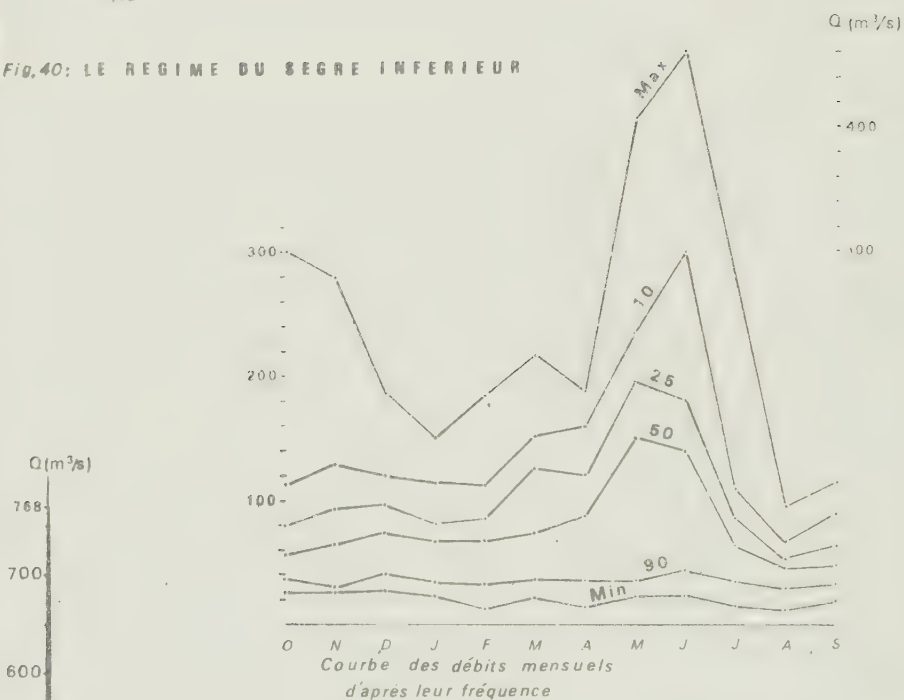
partie des précipitations tombées dans le domaine de l'Ebre. 20 m³/s viennent encore par l'intermédiaire du rio Ara du dos du cirque de Gavarnie, tandis que le Cinca supérieur, issu du Mont Perdu débite à Ainsa 33 m³/s. Plus bas, Vero et Alcanadre n'apportent qu'un modeste appoint que l'on peut évaluer à 10 m³/s environ.

C'est à la contribution des Nogueras que le Sègre doit d'être l'affluent le plus important de tout le bassin. En effet, il est au départ une rivière modeste roulant 11 m³/s seulement à la Seo de Urgel, alors qu'il draine déjà 1233 km² de bassin. Les Valir^{as} qui confluent à ce niveau doublent alors son volume. Mais de la Seo de Urgel à Camarasa, sur un parcours de 95 km, il ne reçoit aucun affluent important. Aussi, le débit qui était de 20 m³/s à l'aval de la Seo ne s'est relevé, au niveau de Camarasa qu'à 26 m³/s. Successivement, les Nogueras apportent alors 44 puis 23 m³/s. En ajoutant la contribution des petits affluents qui s'échelonnent tout au long du cours, cela fait au total un débit de 100 m³/s au niveau de Seros, dont plus des 2/3 en provenance des Nogueras.

L'ensemble des Pyrénées fournit donc annuellement au fleuve 135 m³/s par l'intermédiaire de l'Aragon-Arga, 34 m³/s par le Gallego tandis que le Sègre-Cinca apportent 193 m³/s. Cela fait au total 363 m³/s auxquels il faut ajouter 5 à 6 m³/s pour le bassin subpyrénéen de l'Arba. Les 370 m³/s que fournissent à l'Ebre les Pyrénées et la zone sous-pyrénéenne représentent environ les 2/3 de son débit. Mais il faut tenir compte des irrigations et d'une façon générale de tous les prélèvements humains dont nous donnons une idée dans le tableau XXXI. Dans l'ensemble, ils repré-

- 400 -

Fig.40: LE REGIME DU SEGRE INFERIEUR



Débits quotidiens classés (1956-57 1967-68)

sentent un débit de 80 m³/s environ, ce qui porte à 450 m³/s l'écoulement global naturel des Pyrénées.

Mais cet apport est assez irrégulier, les rivières étant susceptibles d'écarts assez considérables tant du côté des gros débits que du côté des pénuries.

3°/ Une irrégularité interannuelle modulée par la nivosité:

Quelques chiffres rassemblés dans le tableau ci-dessous donnent une idée de son importance.

TABEAU XXV : UNE ANNEE DE FORTE HYDRAULICITE (1959-1960)
ET UNE ANNEE DE FAIBLE HYDRAULICITE (1948-1949) DANS LES PYRENEES.

Q (m ³ /s) Stations	1948-49	1959-60	QM/Qm
Arga	?	67,5	?
Aragon	9,9	101,8	10,2
Gallego	9,8	59,9	6,1
Cinca	15,3	134,2	8,7
Sègre	24,9	152,3	6,1
Total	59,9	516,3	8,6

QM = Module de 1959-60.

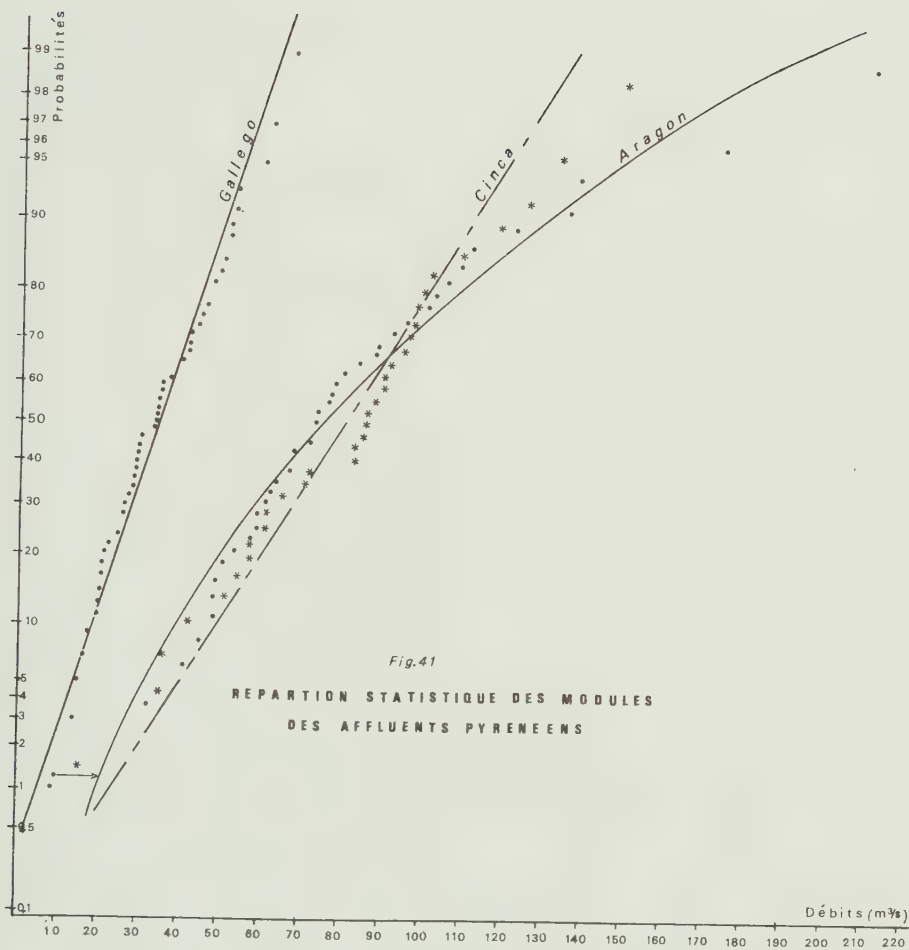
Qm = Module de 1948-49.

Lors de la grande sècheresse de 1948-49, les rivières pyrénéennes Arga non-compris, ont débité seulement 60 m³/s. A ce chiffre, il faut opposer celui de l'année 1959-60, une des années de plus forte hydraulicité : 516 m³/s ! Le rapport est de 1 à 8,6. Même si l'on ajoutait au total de 1948-49 le débit de l'Arga dont le montant n'est pas connu, le résultat ne serait guère changé.

Mais de toutes ces rivières, et aussi étonnant que cela paraîsse, la plus irrégulière est l'Aragon, c'est à dire la plus océanique, mais aussi celle où la neige joue le plus faible rôle. Le coefficient d'irrégularité interannuelle s'élève ici à 12,5. Cette irrégularité rend d'ailleurs particulièrement difficile l'ajustement d'une loi statistique à la répartition expérimentale des débits annuels. Après quelques tâtonnements, nous avons opté pour la solution la moins défavorable : la loi /

Les autres rivières varient de 1 à 6,7 ou 8 d'une année à l'autre, avec un minimum d'irrégularité pour le Gallego (6,8) dont les modules s'alignent bien sur le papier de probabilité justifiant ainsi un ajustement par la loi de Gauss. Par contre, le Cinca est un peu plus fantaisiste comme le prouve un coefficient d'irrégularité un peu plus élevé, atteignant 8,8 et un assez mauvais alignement des points expérimentaux sur le papier gaussien.

On notera qu'il s'agit là surtout d'un phénomène de cours inférieur. A l'amont, à l'exception des Valiras, le rapport max/min. annuel ne dépasse jamais 4 sur toutes les rivières du secteur central et oriental où l'alimentation est essentiellement nivale et parfois quelque peu glaciaire. A cette régularité s'oppose une certaine fantaisie des rivières du secteur occidental. Les



chiffres ici varient le plus souvent de 5 à 10. On remarquera en particulier les coefficients de l'Aragon à Jaca : 10, du Salazar à Aspuz : 8,9, ou encore de l'Iratí à Liedena : 7,8.

4°/ A cet écoulement plus ou moins régulier mais toujours abondant de la haute montagne s'oppose la faiblesse de l'écoulement subpyrénéen. La seule rivière de quelque importance est ici l'Alcanadre, c'est à dire l'organisme qui pousse le plus loin et le plus haut, sa tête de source. A l'issue de 765 km² de bassin, il écoule 7 l/s/km² et son débit brut atteint 5,4 m³/s. Par contre l'Arba, pour 2078 km² n'est guère plus abondant en débit brut, et son débit spécifique n'est que de 2,8 l/s/km². D'autre part, ces rivières sont très irrégulières. On relève un coefficient de 6,7 pour l'Arba, mais pour 17 années seulement ne comprenant ni 1948-49 ni 1959-60 ; sur le Guatizamela où la série est plus complète, ce rapport s'élève à 26,6.

Les Pyrénées offrent donc une assez grande variété temporelle et spatiale de modules, mais si l'on excepte les rivières de l'avant-pays, l'impression qui domine est celle d'une abondance tout à fait confortable.

B - LES VARIATIONS SAISONNIERES : LE ROLE NUANCE DE LA NEIGE -

L'étude des variations saisonnières sur l'ensemble des rivières pyrénéennes, met en relief le rôle nuancé de la neige

d'Ouest en Est et du Nord au Sud. En effet, on constate que ces rivières se divisent en trois grandes catégories : celles qui ont un maximum en mai-juin, en grande partie d'origine nivale, celles qui ont un maximum plus précoce de mars, nival et pluvial, et celles qui ont leurs hautes eaux en hiver : décembre ou janvier.

1°/ Les rivières nivales des Pyrénées centrales et orientales :

De l'Aragon supérieur et sans doute des sources du Subordan à l'Angoustrine et au Sègre, et du pied du Mont Perdu ou de la Maladetta à la grottière de l'Ebre, toutes les rivières (sauf les affluents subpyrénéens) ont un maximum de mai-juin ou bien juin-mai. Ce maximum est dû en première approximation, à la fonte des neiges qui se sont accumulées depuis l'automne précédent sur les sommets. Des nuances sont toutefois à distinguer à l'intérieur de ce régime nival.

- Nous n'avons trouvé qu'une seule fois la succession juin-juillet-mai qui caractérise le régime nival pur dans la terminologie de notre maître Maurice Pardé, terminologie que nous avons adoptée ici. Cette unique station à régime nival pur est celle de Panticosa, perchée à 1555 m d'altitude sur le haut Caldarès, à l'issue de 33 km² de bassin versant. On peut tout de même supposer que si l'on disposait de stations aussi élevées sur le haut Cinca, au niveau du cirque de Pineta par exemple, sur le haut Esera, à quelques kilomètres en amont de Benasque et peut-être encore sur la haute Ribagorzana, à la confluence du ruisseau de Salenque, émis-

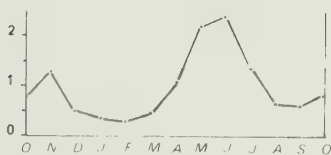
saire du glacier de ce nom, on trouverait encore les caractères propres au régime nival pur. Ainsi, selon nos évaluations, le régime s'étendrait du haut Gallego à la haute Ribagorçana, mais en restant accroché aux flancs des plus hauts massifs et n'intéressant jamais plus de 30 à 40 km² de bassin versant.

- Le régime nival mitigé qui succède normalement au régime nival pur est pratiquement absent ici. Pourtant, sur les hauts bassins de la partie centrale de la chaîne, et jusqu'à 500 km² de bassin versant et 800 m d'altitude, les débits mensuels de printemps s'organisent selon la succession caractéristique de ce type. Mais ici, la pointe pluviale de novembre que l'on observe sur le Cinqueta, le haut Cinca, le Ara, le Gallego, nous oblige à classer ces rivières dans le groupe nival de transition. Plus bas, le régime se précise. La part de la neige faiblissant, le maximum se fait plus précoce, il se localise en mai le plus souvent, quelquefois encore juin, mais surtout, les hautes eaux débutent plus tôt et avril précède juillet. Les étiages d'été se creusent un peu. Les moyennes de ces mois tombent à 40 ou 50 % du module. Ils sont désormais plus marqués que les maigres d'hiver. Ce régime s'étend vers l'Ouest jusqu'aux sources du Subordan et vers l'aval intéresse, au moins en apparence, la totalité des grands affluents. Car le maximum de mai n'a plus à ces niveaux la même signification qu'en amont. En effet, les mois de mai et juin sont dans toutes les Pyrénées centrales et orientales et la zone sous-pyrénéenne des mois de forte pluviosité. Dans bien des secteurs de moyenne montagne, c'est même la saison du maximum. Les hautes eaux de fin de printemps ont donc, à l'aval des grands affluents une double origine pluviale

Fig. 42: VARIATIONS SAISONNIERES

RESEAU DU CINCA

RESEAU DU GALLEGO



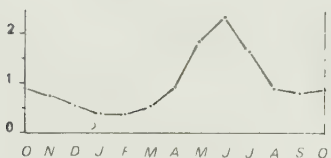
CINQUETA : Molino Gistain



ARA : Boltana



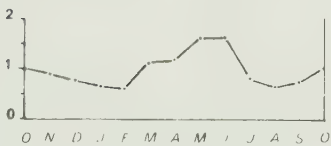
CINCA : La Fortunada



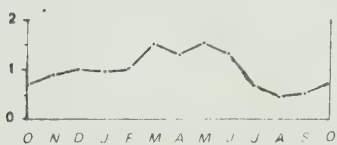
ESERA : Villanova



GALLEGO : Anzenigo



CINCA : El Grado



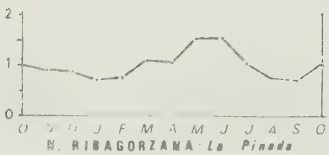
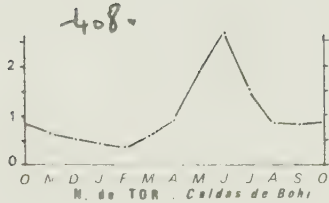
GALLEGO : Ardisa



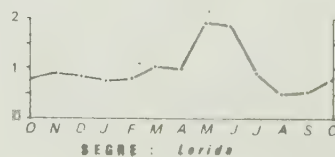
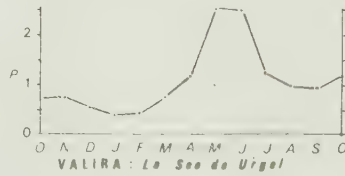
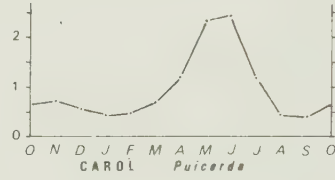
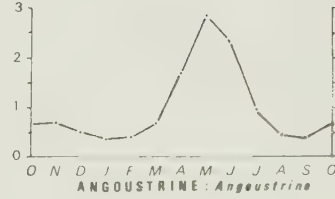
CINCA : Fraga

De 100 à 1000 Km² de B.V. jusqu'à 100 Km² de B.V.

Fig.43: VARIATIONS SAISONNIERES



RESEAU DU SEGRE



← Plus de 1000 Km² de B.V. →
 ----- De 100 à 1000 Km² de B.V. -----
 ----- Jusqu'à 100 Km² de B.V. ----->

et nivale. On a donc là un régime en apparence nival de transition, mais où la pluie joue un bien plus grand rôle que sur bien des rivières alpines par exemple présentant une semblable hiérarchie des mois. C'est pourquoi nous considérons que les grands affluents est-pyrénéens ont un régime nivo-pluvial complexe. L'influence pluviale réapparaît d'ailleurs en automne, où elle donne en novembre des coefficients voisins de l'unité. De toutes les grandes rivières présentant ces caractères, la plus complexe est le Cinca. Grâce à ses affluents subpyrénéens, les pluies méditerranéennes y jouent un plus grand rôle, portant le coefficient de novembre au-dessus de l'unité. L'étiage d'août est un peu plus creusé, par contre, le maximum de juin est plus nettement détaché en raison de l'importance en amont de la fusion nivale.

Dans l'ensemble, ces cours d'eau présentent une irrégularité moyenne comparable à celle des rivières du versant nord ou des rivières alpines. Les coefficients de variation saisonnière se tiennent entre 2 et 8,8 bien au-dessous par conséquent de ceux du Massif Central par exemple où la pluie joue un plus grand rôle. Il faut tout de même préciser qu'à l'aval des grands affluents, cette relative pondération est en partie artificielle. Nous avons essayé de mettre en relief l'influence des aménagements hydrauliques, en construisant pour le Gallego 2 courbes de variations mensuelles, représentant le régime avant et après la construction de la retenue d'Ardisa. L'action régulatrice du bassin apparaît nettement. Les pointes de novembre, mars et mai sont décapitées tandis que le creux de janvier est comblé par l'écoulement des eaux provenant des crues automnales. Le creux estival, par contre s'est ac-

centué car la station d'Ardisa est située à l'aval du point de départ des canaux d'irrigation.

Mais si l'on peut parler d'une relative régularité des rivières pyrénéennes on voit sur les graphiques des maxima instantanés absolus et moyens, ainsi que sur les courbes de fréquences mensuelles que ces organismes restent susceptibles d'écarts assez prononcés. Ces écarts sont dus essentiellement à des crises pluviométriques, comme le prouve la place dans l'année du maximum instantané ; celui-ci se situe le plus souvent en septembre, octobre ou novembre, c'est à dire à l'époque des pluies méditerranéennes, parfois en août et il est alors lié aux violents orages qui peuvent éclater en montagne à cette saison (v. plus loin la crue d'août 1964). Enfin, on peut le voir apparaître en mars et encore parfois en juin, conformément au régime local des pluies dont l'effet hydrologique se trouve accentué par le facteur nival. Mars est en effet, après l'automne, un des mois de plus forte sensibilité aux fortes averses méditerranéennes. En juin éclatent dans les vallées montagnardes bien abritées (Cerdagne, haute Pallaresa), les premiers orages estivaux. Dans l'un et l'autre cas, la pluie entraîne la fusion d'une masse de neige plus ou moins considérable.

Si les maxima instantanés sont liés à des épisodes pluvieux particulièrement intenses, les gros débits mensuels par contre, sont dus à une action conjuguée de la pluie et de la neige, la pluie accélérant la fusion. C'est pourquoi on les trouve surtout en mars ou mai. Exceptionnellement on peut avoir de gros débits pluviaux d'automne, en octobre surtout.

On notera que ce régime est en discordance avec celui

du monde cantabrique. On peut donc prévoir dès à présent que les crues généralisées seront assez rares. L'étude des crues confirmera en effet que ce sont là des phénomènes exceptionnels. Mais le propre d'une crue n'est-il pas d'être un phénomène exceptionnel ?

2° / Les rivières pluviales et pluvionivales du secteur occidental :

Au-delà du haut Aragon, le tempérament des rivières change. Nées à des altitudes plus basses, mieux exposées aux flux océaniques qui franchissent aisément les seuils basques, les affluents de l'Aragon reçoivent une grande partie de leur alimentation sous forme de pluie. Le réseau de l'Arga, avec ses hautes eaux de décembre-janvier, appartient même tout entier sauf sur les tout premiers kilomètres de son cours, à la catégorie des réseaux pluviaux océaniques. Il est intéressant de souligner que la ligne de démarcation de ce type s'étire de la confluence de l'Iraty vers le col de Roncevaux, c'est à dire le point où les montagnes basques se détachent de l'alignement général pyrénéen pour aller rejoindre plus loin la chaîne cantabrique. Entre le haut Arga et l'Aragon supérieur, les bassins de l'Iraty et des rivières qui versent à la "Canal de Berdun" constituent une zone de transition où l'on passe progressivement des régimes nivaux des hautes Pyrénées aux régimes pluviaux du pays basque par les étapes du nivé-pluvial et pluvionival. L'articulation entre ces deux types se fait sur l'interfluve Esca-Veral (fig. XVI HT). Ces limites sont assez nettement tranchées et seront confirmées lors de l'étude des crues. On verra en effet que, selon l'origine, cantabrique ou pyrénéenne de la crue, telle

ou telle partie du bassin de l'Aragon participe à la crue à l'exclusion de l'autre secteur. A moins que la crue ne soit générale.

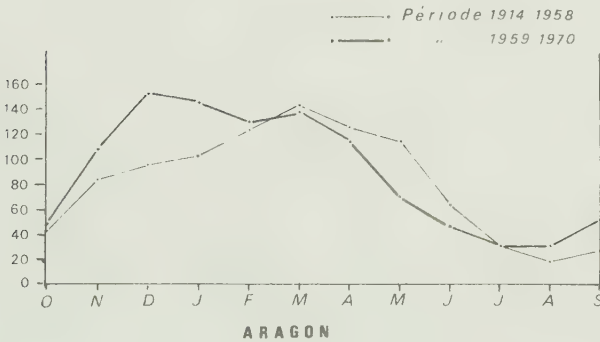
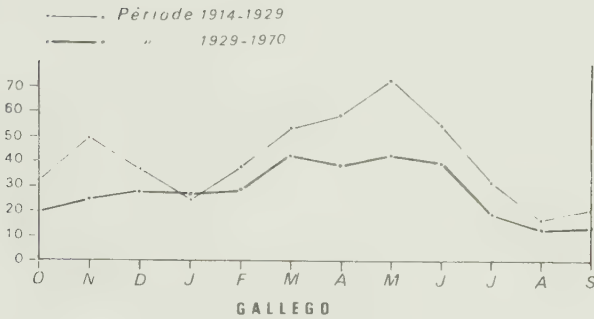
L'importance prise par la pluie explique que ces rivières pourtant moins méditerranéennes que le Sègre ou le Cinca ou même le Gallego, aient de plus fortes variations annuelles. Les coefficients se situent ici entre 7 et 20 sauf pour le Subordani (5,3) qui, tant par son régime, nival de transition à l'amont, que par une certaine modération dans son rythme annuel apparaît comme relevant du secteur central.

La résultante pour le collecteur, c'est à dire l'Aragon est un régime quelque peu complexe où l'on voit se dessiner l'influence des pluies d'hiver océaniques, des pluies de début de printemps (mars) renforcées par la fusion nivale, et des pluies méditerranéennes de mai.

Depuis 1957, la construction du barrage de Yesa et aussi un régime plus océanique dans les années 60, a quelque peu modifié ce schéma en avançant le maximum principal qui se situe désormais en décembre au lieu de mars et en atténuant le maximum de printemps (fig. 44). La première modification est d'ordre essentiellement climatique, la deuxième d'ordre technique : le remplissage du bassin absorbe une partie des débits de printemps qui sont ensuite restitués en été, expliquant l'élévation de la courbe en août et septembre.

Ainsi, chacun des grands collecteurs pyrénéens a son tempérament propre et tient une place bien définie dans l'alimen-

Fig.44: MODIFICATIONS DU REGIME SAISONNIER
DU GALLEGO ET DE L ARAGON



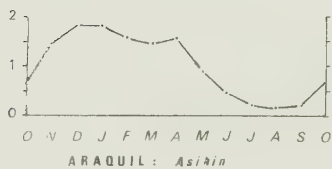
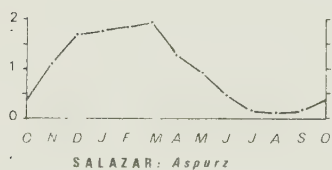
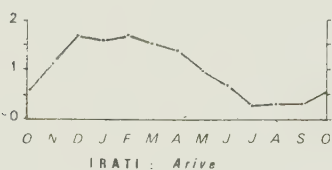
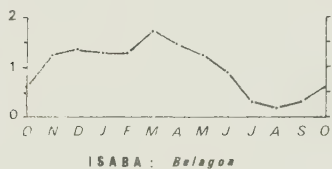
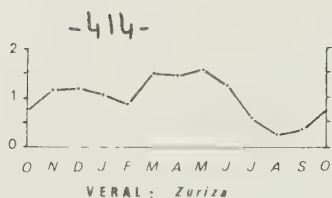
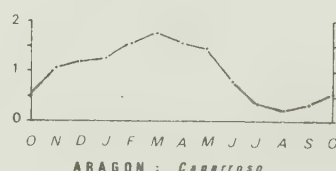
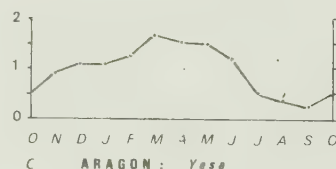
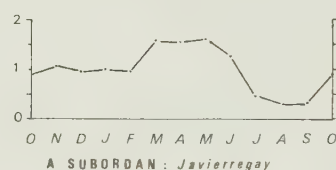
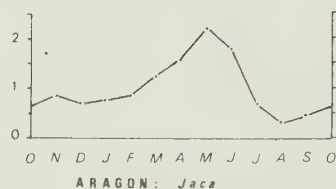


Fig.45: VARIATIONS SAISONNIERES
RESEAU DE L'ARAGON



De 100 Km² de B.V. à 1000 Km² de B.V. --> Jusqu'à 100 Km² de B.V. -->

tation du fluve. L'Aragon, plus océanique, moins nival, apporte à l'état naturel son maximum de débit de février à avril. Il s'agit là de débits assez réguliers d'une année à l'autre, car ses excès, l'Aragon les commet plutôt au niveau mensuel, du journalier, et ceci, soit à l'automne, soit en mai, c'est à dire aux époques où il peut être atteint par les violences méditerranéennes. Le Gaillego et le Cinca sont des rivières au comportement assez semblable. Leurs hautes eaux se situent au printemps, mais plus tardivement que sur l'Aragon à cause de la part prise par les eaux de fusion. Le maximum se produit donc en mai-juin, et les caprices, soit en automne, ce sont les plus violents, soit en mai. Le Sègre présente à l'état naturel, un régime assez semblable, mais le grand nombre des barrages construits depuis longtemps dans son bassin a introduit chez cette rivière méditerranéenne, une étonnante modération.

Ainsi, les hautes eaux de l'Aragon et des autres rivières pyrénéennes se succèdent dans le temps, maintenant dans le lit du fleuve de forts débits de la fin de l'hiver à la veille de l'été. Mais les crues se produisent souvent en même temps. Heureusement que leur efficacité est freinée, on le verra par une discordance importante due à la conformation du réseau, particulièrement à l'échelonnement des confluences.

SECTION III - LA FAIBLESSE DE LA CONTRIBUTION IBERIQUE -

Il convient de faire tout de suite une distinction entre les rivières de la moitié nord ouest du système, jusqu'au

Moncayo, dont la faiblesse est due surtout à l'exigüité des bassins versants, et celles de la moitié sud-est, alimentées de façon précaire et n'apportant ainsi, malgré l'énormité de certains bassins, qu'une contribution bien modeste aux débits du fleuve.

A - LES RIVIERES IBERIQUES DE L'OCA AU HUECHA -

Les quatre premières de ces rivières l'Oca, le Tiron, le Najerilla et l'Iregua présentent à l'amont des conditions favorables à un fort écoulement : pluviosité élevée, pentes fortes, substratum parfois imperméable. Aussi les modules spécifiques atteignent-ils des valeurs relativement importantes, de l'ordre de 20 l/s/Km² pour des bassins pouvant aller jusqu'à 250 Km². On relève même sur le Glera, affluent du Tiron, mais pour une période de quatre ans seulement, et pour 74 Km², un module de 47,8 Km². Mais ces rivières ont un très court trajet montagnard. Très vite elles abordent le piémont qu'elles fertilisent de leurs eaux. L'une d'elle doit même son nom à cette action bienfaisante : l'Iregua. Aussi, les coefficients d'écoulement très forts à l'amont : 80 à 90 %, s'effondrent-ils à l'aval, en même temps que les débits spécifiques. Si l'on ajoute à ces conditions la faible étendue des bassins versants, on concevra que les quantités d'eau apportées par chacune de ces rivières soient très faibles : 14 m³/s pour la plus abondante, le Najerilla. Au total, les affluents de ce secteur du Système Ibérique versent à l'Ebre 50 m³/s au maximum, distribués sur une longueur de 285 Km environ.

TABLEAU XXVII : BILANS D'ÉCOULEMENT SUR LES RIVIÈRES DU VERSANT IBERIQUE

B A S S I N S	S T A T I O N S	P (mm)	P' (mm)	$C = \frac{P'}{P}$	D	D _I	C _N
Tiron	Cuzcurita	777	272	0,35	505	29,1	0,38
Najerilla	Torremontalbo	762	427	0,56	335	25,3	0,59
Iregua	Islallana	650	331	0,51	319	98	0,66
Jiloca	Daroca	378	56,7	0,15	321,3	36,6	0,25
Piedra	Carenas	498	95,7	0,20	402,3	14,3	0,22
Jalon	Huermeda	548	67,5	0,12	480,5	28,5	0,18
Huerva	Mezalocha	356	42,8	0,12	313	34	0,21
Martin	Hijar	660	33	0,05	627	29,5	0,09
Guadalope	Alcaniz	626	67	0,10	559	32,7	0,15

P : Pluie tombée (en mm). Obtenue par planimétrage des cartes annuelles d'isohyètes.

P' : Pluie écoulee.

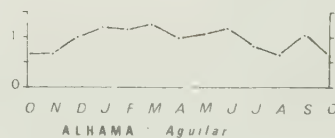
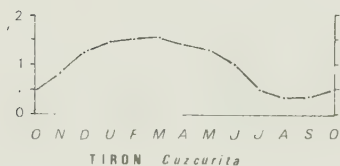
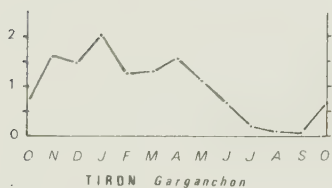
C : Coefficient d'écoulement réel.

D : Déficit = P - P' (en mm).

D_I : Déficit résultant de la consommation d'eau.

C_N : Coefficient d'écoulement naturel.

(SECTEUR AMONT)



Cet apport est, toutes proportions gardées assez régulier puisque les coefficients de variation interannuelle se situent entre 2,1 et 5,7 pour les 4 cours d'eau les plus importants. Par contre, comme dans le secteur cantabrique, il est assez mal réparti au long de l'année. L'essentiel s'écoulant de décembre à avril ou mai, tandis que les débits estivaux tombent au voisinage de 0. C'est à la profondeur de ces basses eaux d'été que les rivières de ce secteur doivent des coefficients de variation aussi élevés : jusqu'à 39 pour le Tiron ; Les hautes eaux se produisent soit en décembre, sur l'Oca par exemple qui doit à sa situation sur le seuil de la Bureba un régime typiquement pluvial océanique, soit en mars pour les rivières descendues de la Demanda et jouissant par conséquent d'une certaine alimentation nivale. C'est le cas du Tiron, du Najerilla et de l'Iregua qui ont un régime pluvio-nival océanique comme le prouve le maximum secondaire et parfois principal - de décembre ou janvier. Plus loin, le Cidacos et l'Alhama conservent une pointe en partie nivale en mars, mais le deuxième maximum s'est déplacé de janvier à juin, soulignant le passage d'un régime à pluies océaniques à un régime influencé par des pluies de type méditerranéen continental. Ces nuances dans le tempérament des rivières sont un précieux indicatif du passage d'une zone climatique à une autre, c'est pourquoi il nous paraît intéressant de les souligner.

B - LA REGULIERE FAIBLESSE DU JALON -

Avec le Jalon, nous abordons une des rivières les plus

étonnantes du bassin de l'Ebre. Drainant une surface de plus de 7000 Km² (troisième des bassins affluents par la surface, derrière ceux du Sàgre et du Cinca), le Jalon n'apporte à l'Ebre que la modique contribution de ses 15 m³/s, soit un débit égal à celui du Najerilla ou du Zadorra. Cet immense bassin est en effet défavorisé à tous points de vue. La lame d'eau qu'il reçoit est très faible - 548 mm seulement -, et de plus mal répartie, l'essentiel tombant en mai-juin, puis en octobre, c'est à dire à une période où les températures élevées provoquent une forte évaporation. Si l'on ajoute à ces causes naturelles de déperdition, les causes humaines, (la vallée du Jalon est aujourd'hui, grâce à l'irrigation, "le vergier de l'Aragon"), on comprendra l'énormité du déficit : 480 mm, dont 40 environ dus à l'action des hommes, et la faiblesse du coefficient d'écoulement : 0,12. En l'absence d'irrigation, ce coefficient doublerait presque. Mais avec une valeur de 0,20, il serait encore loin de tout ce que nous avons pu observer jusqu'à présent, et le débit ne s'élèverait qu'à 26 m³/s environ. C'est que, dès l'amont le Jalon est mal alimenté par ses tributaires. Les modules spécifiques enregistrés par les différentes stations de jaugeage varient de 1,3 à 3,1 l/s/km². Les moins misérables se situent sur le haut Jalon, sans doute aussi le haut Jiloca et, chose plus étonnante, l'aval du Piedra, malgré les 1478 km² de bassin versant. La supériorité des modules du Piedra, que l'absence d'irrigations porterait d'ailleurs à 3,5 l/s/km² s'explique par un coefficient d'écoulement un peu plus fort : 0,20 (0,22 à l'état naturel) lié lui-même à l'importance de l'infiltration et des circulations souterraines dans une partie du bassin. Celles-ci ont pour conséquence de soustraire pour un temps les eaux du Piedra à l'évaporation.

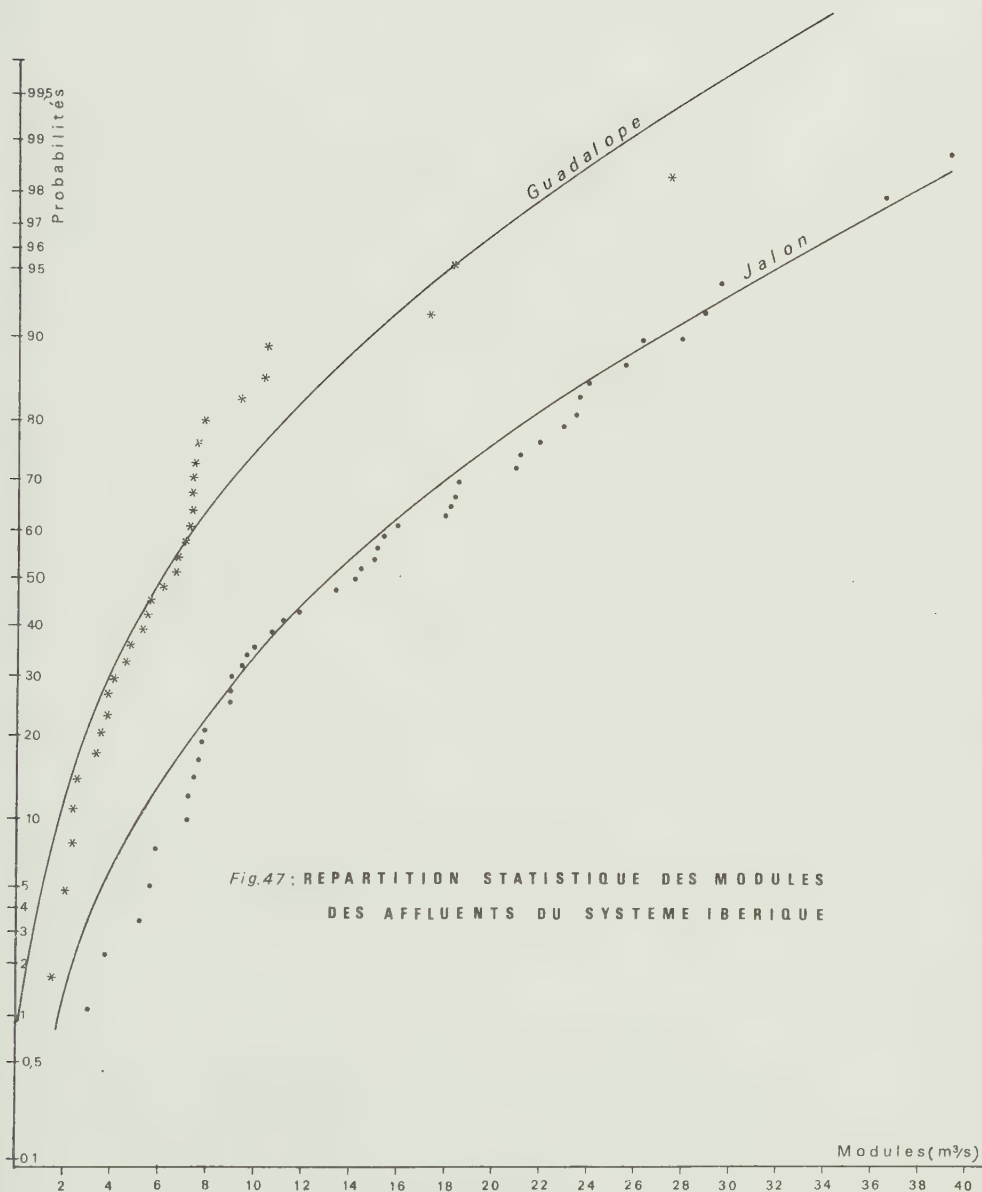


Fig.48: VARIATIONS SAISONNIERES

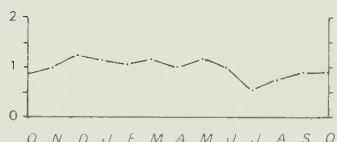
AFFLUENTS DU SYSTEME IBERIQUE



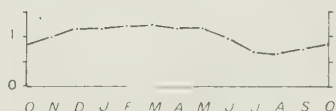
JILOCA : Calamocha



PIEDRA : Carenas



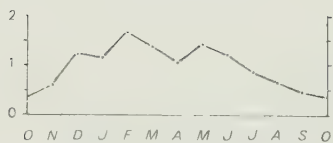
JILOCA : Morata



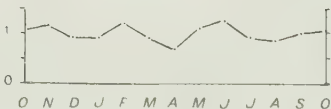
JALON : Jubera



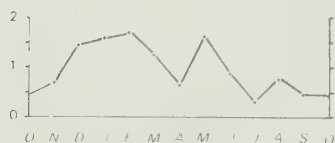
JALON : Huermada



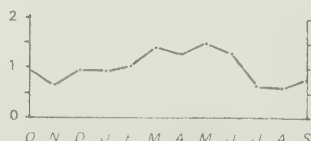
HUERVA : Mezalocha



MARTIN : Hajar



AGUAS VIVAS : Blesa



GUADALOPE : Alcañiz

Mise à part cette rivière, au comportement décidément original, l'irrégularité interannuelle est très forte : les coefficients se situent entre 10 et 30, ce qui est énorme.

Contrairement à ce que nous avons observé dans le premier secteur du Système Ibérique, cette irrégularité interannuelle s'accompagne d'une étonnante régularité à l'intérieur de l'année. Les rapports max/min. mensuels sont parmi les plus faibles du bassin et ne peuvent être comparés qu'à ceux des rivières les plus navales des Pyrénées. Quant à ceux du Piedra - 1,5 seulement - ils comptent au nombre des plus faibles du domaine méditerranéen, (et peut-être même du monde) et ne trouvent d'équivalent que dans d'autres régions karstiques, et à condition toutefois que les calcaires soient assez finement fissurés pour jouer le rôle d'éponge (1).

En dehors du Piedra, cette régularité s'explique par le régime des pluies à maximum de saison chaude, caractéristique de la nuance continentale du climat de ce secteur. De sorte que, malgré une très forte évaporation dans ces vallées où la chaleur est étouffante, les coefficients de débits estivaux ne sont jamais très bas. Ils représentent généralement la moitié ou les 3/4 du module. Mais les hautes eaux restent localisées en hiver, en dis-

(1) En milieu méditerranéen, nous avons trouvé des éléments de comparaison en Italie, où la Néra, affluent oriental du Tibre, voit ses coefficients de débit varier de 1,20 à 0,84 (rapport 1,4). Autre tributaire du Tibre, l'Aniène est à peine plus irrégulier. Dans le bassin oriental de la Méditerranée, des comportements semblables se trouvent sur quelques rivières du sud Anatolien, le Kocacay par exemple (coefficient d'irrégularité : 2,17) ou encore les rivières du Liban : Oronte et Litani, au régime soutenu par des nombreuses sources karstiques.

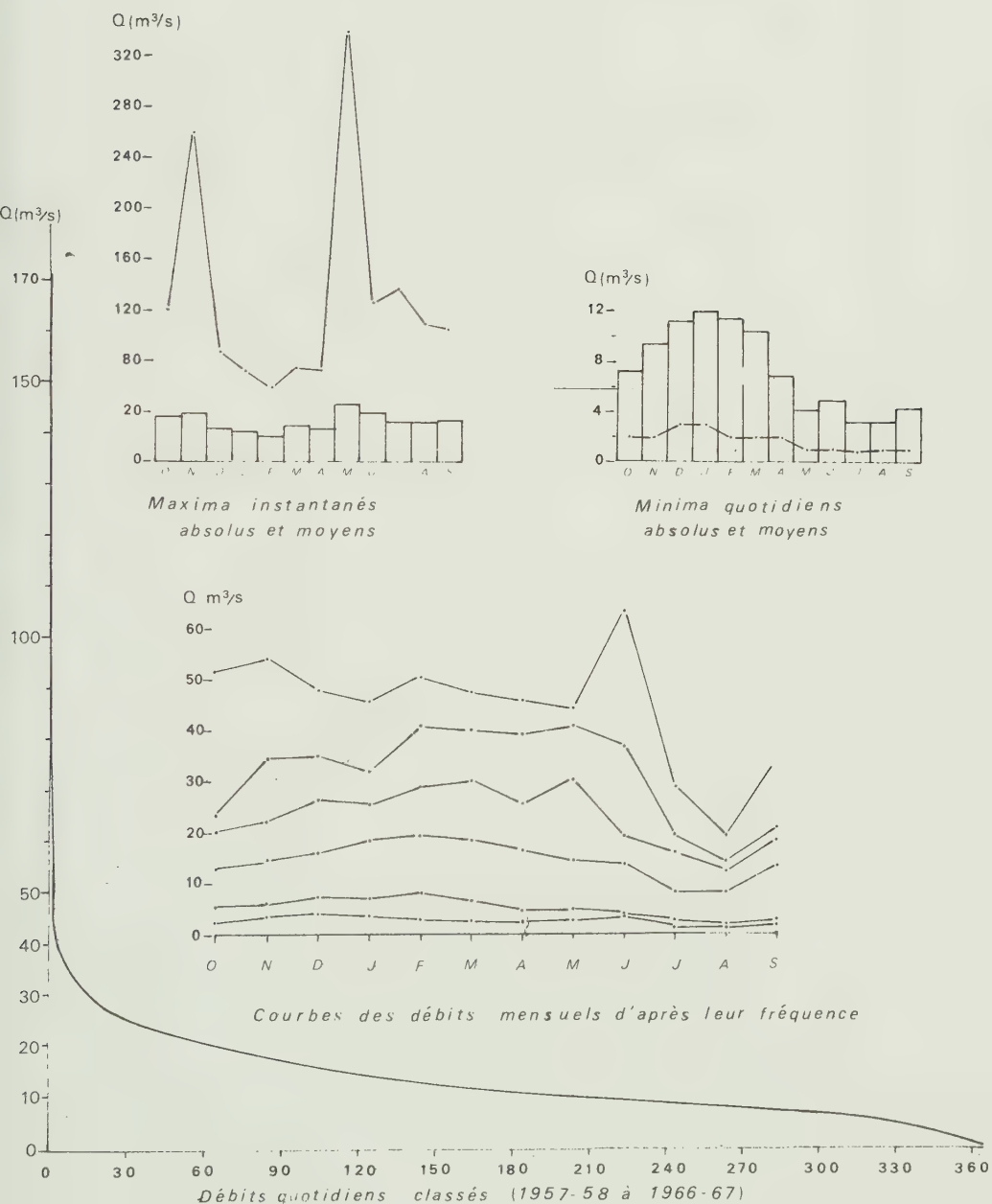
cordance totale donc avec le régime des pluies qui connaissent alors leur minimum. Il est vrai qu'il s'agit de hautes eaux très relatives liées à des coefficients d'écoulement plus forts en hiver qu'en été. Finalement, la pondération des rivières ibériques résulve d'une régulière indigence.

Tout à l'amont du Jalon, les hautes eaux sont reportées à mars à cause d'une très légère influence nivale. Ailleurs, on note généralement un léger creux entre décembre et mars, dû beaucoup plus à la fréquence et la prorondeur des sécheresses hivernales qu'à la rétention nivale d'amont.

Ainsi, par l'extrême faiblesse des modules, par l'étonnante régularité des débits à l'intérieur de l'année malgré un régime essentiellement pluvial, par la faiblesse relative du creux estival malgré l'absence de neige, l'hydrologie du Jalon tient une place tout à fait à part à l'intérieur du bassin de l'Ebre. Mais si le Jalon est un organisme original, il n'exerce pas beaucoup d'influence sur le régime de l'Ebre. Ses débits d'hiver n'apportent pas grand chose à un fleuve déjà gonflé par les rivières pluviales vasco-cantabriques ; ses apports d'été sont, en valeur absolue, trop faibles pour soutenir les débits défaillants de l'Ebre aragonais. D'autre part, le graphique des maxima instantanés absolus et moyens à la station de Huermeda montre que les crues du Jalon se produisent très rarement et sont toujours faibles en hiver, c'est à dire au moment où ces phénomènes sont les plus fréquents sur l'Ebre moyen. Par contre, les crises de printemps, mai-juin, qui sont d'ailleurs les plus nombreuses et les plus aigües peuvent se conjuguer avec des paroxysmes venus d'amont, ou plus souvent, rejoindre

Fig.49: LE REGIME DU JALON

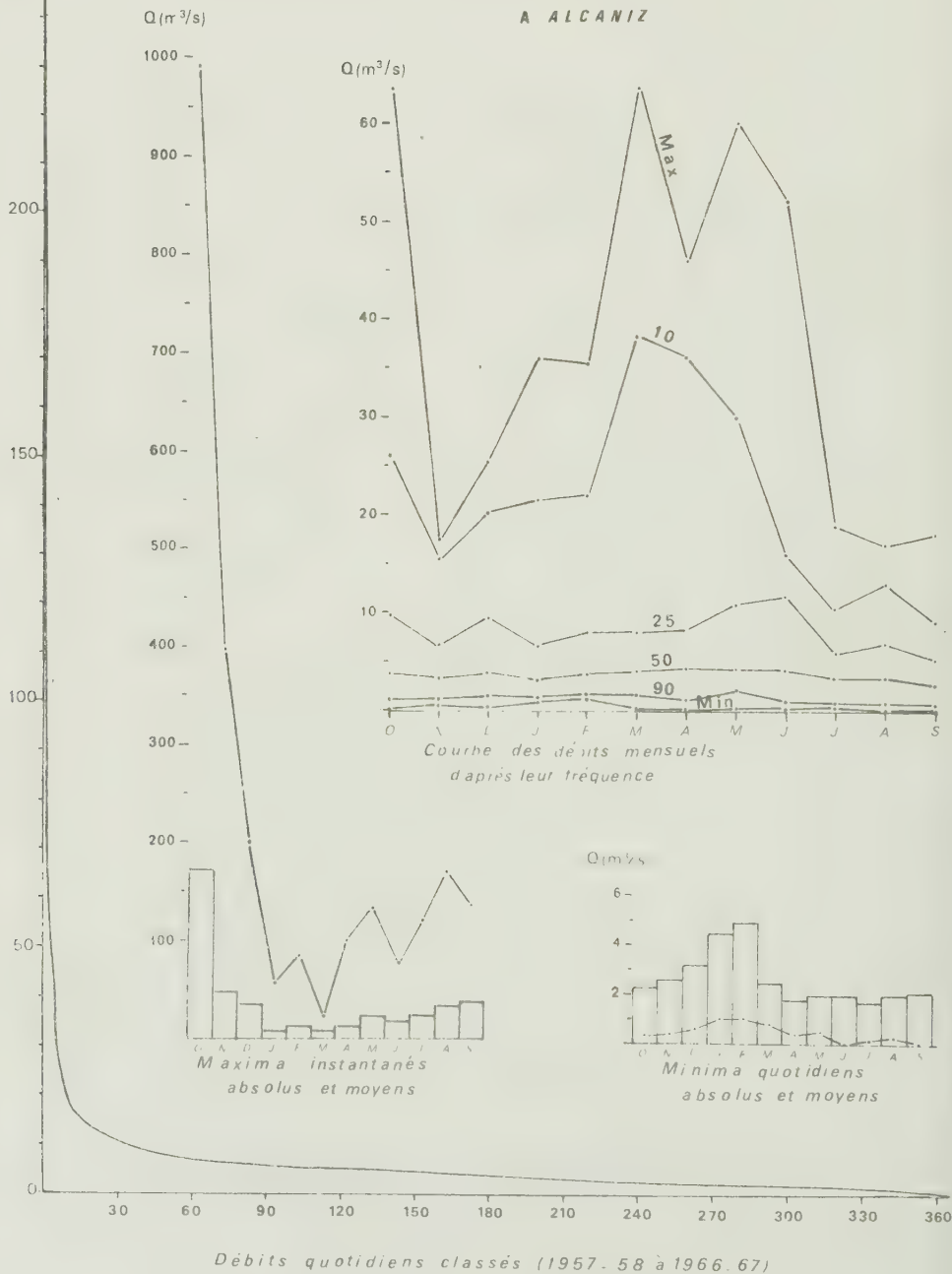
A HUERMEDA



644 $Q(m^3/s)$

-426-

Fig.50: LE RÉGIME DU GUADALOPE
A ALCANIZ



à l'aval des crues d'origine pyrénéenne. Tout ceci, on le verra, est malgré tout assez secondaire et on peut dire que le Jalon tient, dans l'économie du fleuve une place tout à fait modeste malgré l'énormité de son bassin.

A cette régularité du Jalon, unique dans le domaine qui nous occupe - et sans doute même dans toute l'Espagne - s'opposent les dangereuses fantaisies du Guadalope que sa situation aux approches de la Méditerranée incline à la torrentialité.

C - LA TORRENTIALITE DU GUADALOPE -

Nous sommes ici aux confins du milieu méditerranéen continental et méditerranéen pur, et cette situation se traduit sur les rivières par des caractères qui rappellent ceux du Jalon tandis que d'autres annoncent les organismes du versant méditerranéen.

Tout d'abord, le Guadalope a en commun avec le Jalon l'extrême faiblesse de ses modules : 7 m³/s pour 3476 km² à Alcañiz contre 15 m³/s à Huermeda, pour un bassin deux fois plus grand, ce qui suppose un égal module spécifique de 2,1 l/s/km². Cette faiblesse résulte, ici encore, d'une faible pluviosité, aggravée par un coefficient d'écoulement de 10 % seulement, le plus bas de tous les coefficients des grandes rivières du bassin. Autre ressemblance : une forte irrégularité interannuelle - le rapport entre le débit maximum de 1920-21 et le débit minimum de 1956-57 s'élève à 17,3 -, opposée à des variations saisonnières de faible amplitude. Le débit mensuel le plus faible atteint 61 % du module, et le coefficient

de variation saisonnière à Alcañiz tombe à 2,4, chiffre très faible, inférieur à celui du Jalon.

C'est sur le plan des rythmes annuels que s'affirme l'individualité des deux organismes. A vrai dire, lorsqu'on observe les courbes de fréquences mensuelles de débit, on constate que la situation ne diffère pas beaucoup jusqu'au niveau de la fréquence 50 % et même 25 %. On observe en particulier la même régularité mentionnée plus haut. Simplement les courbes du Guadalupe tendent à s'affaïsser un peu pendant les mois d'hiver, annonçant les sécheresses du bassin inférieur, et à se gonfler en décembre, mai et juin. Par contre, la courbe de fréquence 10 % et celle des maxima se détachent largement au niveau de mars, mai et octobre, mois particulièrement sensibles aux crues comme le confirme le graphique des maxima instantanés. Le phénomène le plus spectaculaire est ici l'hypersensibilité automnale de cette rivière, qui se superpose à un régime au demeurant étonnamment régulier. Cette irrégularité toute méditerranéenne, superposée à une pondération rappelant le milieu ibérique est le trait le plus original de cette rivière.

SECTION IV - L'ACTION DES HOMMES : REGULARISATION ET POMPAGES -

"Si no corre el agua por las acequias, rendia que correr la sangre" (1).

Si l'eau ne coule pas dans les rigoles, c'est le sang qui coulera". Diction populaire de l'Aragon.

Si le régime de l'Ebre est d'abord la résultante des influences variées que nous venons d'analyser, il dépend aussi, et chaque jour davantage, de l'action des hommes. L'homme en effet est devenu un facteur important de l'écoulement. Il agit sur les rivières de deux façons : d'une part, en prélevant pour ses besoins propres, une partie, et parfois la totalité des débits, d'autre part, en modifiant les variations saisonnières de l'écoulement afin de s'assurer en temps voulu, les volumes liquides qui lui sont nécessaires. Ces deux aspects sont ici très fortement marqués.

A - LES BESOINS DE L'IRRIGATION ET LE DEVELOPPEMENT DES
CANAUX -

On a déjà souligné le poids de l'aridité sur toute l'activité agricole du bassin, plus particulièrement dans sa partie médiane et aval : une aridité telle que toute culture est aléatoire sans l'apport par l'homme, de façon artificielle, de cette eau que le ciel dispense avec tant de parcimonie. C'est pour faire face à ce problème que les hommes, depuis longtemps, se sont attachés à mettre en place un réseau de canaux, remarquable aujourd'hui par sa densité et sa puissance.

1' / Le développement du réseau et son influence sur les
modules du fleuve :

Les bases de ce réseau sont fort anciennes. Sans reve-

nir sur l'histoire de l'irrigation qui a déjà fait l'objet, en Espagne, de nombreuses publications, rappelons que, selon toute probabilité, les Ibères ont su, bien avant les Arabes, utiliser l'eau de leurs rivières à des fins agricoles. Mais c'est aux Arabes que l'Espagne doit l'amélioration des techniques et le développement de l'irrigation : un développement qui devait se poursuivre au long de l'histoire rythmé par les sécheresses les plus graves, troublé par les querelles, parfois sanglantes que se livrèrent les communautés villageoises, en vue de la possession de l'eau. Aujourd'hui, dans le cadre de la conquête de nouvelles terres, en vue de l'augmentation de la production agricole, de vastes travaux sont en cours et des plans de développement prévoient de nouvelles extensions des surfaces irriguées. Cet accroissement peut se résumer dans le tableau suivant :

1884 -----	236.000 ha irrigués
1943 -----	420.000 ha "
1962 -----	531.000 ha . "
1964 -----	558.000 ha "
1967 -----	602.000 ha "
1970 -----	648.000 ha "
prévu pour 1980 -----	830.000 ha " environ.

Le 1/3 de ces surfaces est situé sur la rive droite. Le reste sur la rive gauche. A raison de 8000 m³ d'eau environ par ha, les irrigations ont nécessité en 1970 un prélèvement global de 5200 hm³, représentant un débit de 165 m³/s. En 1884, le module n'était amputé que de 60 m³/s environ. Cette situation nous conduit

à faire deux remarques :

- Depuis la fin du siècle dernier, les débits du fleuve ont été privés de volumes liquides de plus en plus importants, ce qui devrait faire apparaître sur la courbe chronologique des modules annuels (fig. 57) au-delà des variations liées aux caprices du climat, une tendance à la baisse - un trend - nettement marquée.

- Plus difficile à déterminer est l'influence des fluctuations de l'irrigation sur les variations interannuelles des modules. En effet, selon les années et les aléas du climat, les volumes prélevés peuvent être très variables, soit que la saison d'arrosage soit plus longue, soit que la sécheresse, plus intense, oblige à mettre en eau les secteurs dits "d'irrigations éventuelles". En effet sur le total de 648.000 ha indiqué plus haut, il faut distinguer 531.000 ha en irrigations permanentes et 116.900 ha en irrigations éventuelles. Ainsi, lors des années de forte sécheresse, les pompages se font plus épuisants, en année humide ils sont moins intenses, et l'irrigation tend ainsi à accroître l'irrégularité interannuelle. Cependant, la situation est ici complexe, et des interactions diverses voilent parfois cette influence. C'est ainsi que si la sécheresse est trop intense, les débits n'arrivent plus à faire face aux irrigations. Il faut alors diminuer les prélèvements. Lors des années humides, on a intérêt, lorsque l'état des bassins le permet, à mettre en réserve une partie des débits en vue d'éventuelles sécheresses futures. On voit que ces interventions sont assez contradictoires. Il n'en reste pas moins que l'irrigation reste une cause essentielle de déficit et par conséquent de diminution des modules.

2° / L'inégale densité du réseau de canaux. Ses conséquences
sur les modalités régionales de l'écoulement :

Cette inégalité, elle apparaît dans le tableau des principaux canaux en exploitation et dans celui que nous donnons ci-dessous relatif à la localisation des irrigations en 1970. Nous ajoutons à ce dernier les extensions prévues pour 1980

Localisation des irrigations

(Surfaces irriguées en ha).

	1970	1980
1 - Des sources à Miranda -----	1772 ha	1772 ha
2 - de Miranda à Castejon -----	105043 ha	146700 ha
3 - de Castejon à Sastajo -----	211309 ha	249315 ha
4 - de Sastajo à Flix -----	303235 ha	378443 ha
5 - de Flix au débouché -----	27563 ha	52928 ha
total -----	648922 ha	829158 ha

Ces différents documents montrent des disparités, d'origine différente, qui opposent le bassin amont au reste du bassin, le versant de rive droite à celui de rive gauche.

Ainsi les influences océaniques qui règnent en amont évitent à l'agriculture de ce secteur le recours à une irrigation intempestive. C'est pourquoi en amont de Miranda, aucun canal important ne vient saigner les rivières et les surfaces irriguées ne couvrent que 1772 ha absorbant annuellement 10,6 hm³ soit 0,3 m³/s seulement. Ici le module du fleuve ne se trouve guère affecté. Il n'en est pas de même du bassin moyen et encore du bassin inférieur où l'hypothèque de la sécheresse se fait lourdement sentir. Mais

TABLEAU XXVIII : PRINCIPAUX CANAUX EN EXPLOITATION DANS LE BASSIN
DE L'EBRE -

Rivière de départ.	C A N A L	Capacité max. de dérivation (en m3/s)	Prélèvements moyens (en Hm3)	Débit annuel équivalent (en m3/s)
<u>RIVE GAUCHE</u>				
Aragon	Bardenas	37	548	17,3
Soron (Gallego)	Monegros	25,5	220	7,0
Esera	Aragon et Caral- gne	26,5	408	13,0
Sègre	Urgel	22	353	11,1
Sègre	Auxillaire de Urgel	8,5	130	4,1
N-Ribagorçana	Pinada	20,7	410	13,0
Carcl	Acequia Seneja	0,88	9,1	0,28
<u>RIVE DROITE</u>				
Linares (Alhama)	Acequia Igea	0,29	3,46	0,11
Piedra (Jalon)	Tranquera (système de rigoles)	0,74	7,64	0,24
Huerva	Mezalocha (droite)	0,73	6,28	0,20
Huerva	Mezalocha (gauche)	0,58	2,68	0,08
Guadaloce	Acequia Molinar	2,25	25,58	0,81
Matarraña	Acequia Basona	0,06	0,99	0,03
Matarraña	Acequia Mayor	0,33	6,76	0,21
EBRE	Lodosa	20	292	9,3
"	Tauste	10,5	241	7,6
"	Impérial d'Aragon	31,3	728	23,0
"	Cherta (droite)	24,5	465	14,8
"	Cherta (gauche)	19	425	13,5

alors, de nouvelles différences apparaissent entre le versant nord, et le versant sud.

Au Nord, le versant de rive gauche, largement étalé au pied des Pyrénées, présente de vastes espaces soumis à un climat semi-aride où le déficit hydrique des sols est considérable. Il est nécessaire d'irriguer abondamment. Or, et c'est là la chance de ce secteur, de puissantes rivières descendues des Pyrénées le traversent de part en part avant de rejoindre la gouttière centrale. De plus, étant donné le rôle de la neige dans l'alimentation de ces rivières, celles-ci ont généralement des étiages d'été pas trop misérables, au moins à leur débouché sur le piémont. Ces possibilités sont aujourd'hui largement utilisées. De puissants canaux branchés sur les quatre grands collecteurs pyrénéens, ou leurs affluents, drainent vers les cultures cette eau si précieuse. Nous rappellerons brièvement ces canaux renvoyant le lecteur pour plus de détails à la littérature spécialisée.

Le premier des grands tributaires pyrénéens, l'Aragon, offre grâce à son abondance, de grandes possibilités d'irrigation, d'autant plus appréciables que, par la "Canal de Berdu", l'aridité pénètre ici très avant dans le bassin de cet affluent. Aussi depuis bien longtemps, de nombreux canaux et rigoles saignent la rivière, et ceci dès les abords de Jaca où un ouvrage de 17 km irrigue quelques 832 ha. Plusieurs autres lui succèdent jusqu'au confluent, puisqu'encore à Caparrosa tout à l'aval, nous trouvons une "acequia" desservant 17000 ha. Mais l'essentiel ici réside dans le canal des Bardenas, commencé en 1933 et chargé d'apporter le vie à ces semi-déserts que sont les "Bardenas reales" et les "Cinco Villas"

Actuellement, ce canal branché au niveau du bassin de Yesa dérive en moyenne 548 hm³ (17,3 m³/s). Mais ces volumes sont pris essentiellement sur les débits d'été. En effet le canal est généralement à sec de novembre à mars ; par contre en haute saison, il débite selon les années de 20 à 25 m³/s et en période de pointe jusqu'à 35 m³/s. Ce prélèvement, dans bien des cas supérieur à l'étiage, ne serait pas concevable sans la présence d'ouvrages de régularisation dont nous parlerons plus loin. Au total, les irrigations du bassin de l'Aragon privent l'Ebre d'un débit moyen de 18,6 m³/s.

Plus à l'Est, le Canal des Monegros a pour but d'irriguer le secteur de ce nom. Il utilise essentiellement les eaux du Gallego qui ont été préalablement amenées puis stockées dans le bassin de la Sotonera. Il court sur près de 150 km à travers le désert des Monegros auquel il distribue par l'intermédiaire de quelques 260 km de rigoles et de ses deux dérivations (c. de la Viola-de, et c. du Flumen) un volume global de 220 hm³. Par lui, le Gallego se trouve privé de 7 m³/s auxquels il faut ajouter les débits prélevés plus bas pour l'irrigation de la basse vallée dans le secteur de Villanueva et de Zuera. Les irrigations du Gallego représentent au total 11,7 m³/s.

Le principal ouvrage du bassin du Cinca réside dans le canal d'Aragon et Catalogne, construit de 1865 à 1906. Il est branché sur l'Esera à 4 km en amont de son confluent avec le Cinca, et grâce à ses 124 km de long (y compris le rameau de Zaïdin) et ses 140 km de rigoles, il irrigue 91000 ha. Il en coûte au bassin du Cinca quelques 13 m³/s en moyenne, mais 23 à 25 pendant la haute saison, ce qui représente une part considérable du débit d'étiage.

Par contre le canal est à sec de décembre à mars.

Le plus abondant des tributaires de l'Ebre, le Sègre est aussi l'un des plus largement utilisés. La sécheresse qui pè-
rètre ici jusqu'au cœur du bassin supérieur où elle se fait sen-
tir surtout dans la haute plaine cerdane a incité les hommes à uti-
liser les eaux dès l'origine de la rivière, au voisinage même de
ses sources. Mais les dérivations de la Cerdagne et de la rigole
du Carol, sont peu de choses à côté de ce qui se passe plus bas.
Un peu au Sud de Pons, le Canal de Urgel construit de 1817 à 1861,
se détache en effet du Sègre auquel il soustrait 353 hm³ d'eau
(11 m³/s) qui sont distribués par un cuivrage de 144 km à quelques
6800 ha. Ce canal est généralement à sec de février à mars, mais
débite en cours de saison 13 à 18 m³/s, 19 à 20 en période de poin-
te. Il est doublé un peu plus bas par un ouvrage un peu moins im-
portant le canal auxiliaire de Urgel.

Enfin les deux grands affluents du Sègre, les Nogue-
ras, sont utilisées elles aussi à des fins d'irrigation. C'est le
cas en particulier de la Ribagorçana qui alimente le canal de la
Piñada auquel elle fournit 13 m³/s.

Le Sègre perd ainsi, du fait de l'action des hommes,
une trentaine de m³/s par an; mais en période estivale, ce débit
s'élève à 40 m³/s et parfois davantage. C'est alors que l'action
de l'homme se fait le plus lourdement sentir sur l'écoulement.

L'ensemble des prélèvements opérés sur la rive gauche
par les grands canaux issus des rivières pyrénéennes s'élève à
2078 hm³ soit un débit moyen de 60 m³/s, et si l'on prend en compte
la totalité des prélèvements, on aboutit à un débit de 81 m³/s. Or

il s'agit de moyennes annuelles, et l'on sait que les volumes prélevés sont répartis en réalité sur 8 à 9 mois pendant lesquels les dérivations s'élèvent alors à 100 m³/s !

La rive droite, aussi sèche, mais plus étroite, sauf au niveau du Jalon, et surtout moins bien pourvue en eau courante ne possède de "régadíos" qu'au long des vallées, celles de l'Ire-gua, du Najerilla, du Huerva, du Guadalo... et surtout du Jalon. Ici, pas de grands canaux comme ceux des Bardenas ou des Monegros, capables de prélever en haute saison 25, 30, 40 m³/s, et d'irriguer de vastes interfluves tels ceux qui séparent l'Aragon du Gallego ou le Gallego du Cinca. L'irrigation se fait par le biais d'une foule de petites rigoles (acequias), certaines très anciennes, d'origine arabe comme celle du cours inférieur du Jalon, ou même antérieures, comme dans la Rioja, et dont la capacité maximale de dérivation n'atteint jamais 10 m³/s. L'ensemble des sept acequias répertoriées représente une consommation moyenne de 1,7 m³ seulement. Mais ce chiffre ne représente qu'une part minime des dérivations. Si nous totalisons sur le tableau relatif à la consommation d'eau, les volumes et les débits consommés sur la rive gauche, nous arrivons à un total de 29,6 m³/s qui peut-être ventilé de la façon suivante :

254 hm ³	7,9 m ³ /s	jusqu'au Jalon exclu.
386 hm ³	12,2 "	pour le seul Jalon.
386 hm ³	9,5 "	du Huerva au Matarraña.

Là encore, ces volumes liquides sont répartis non point sur les 12 mois de l'année, mais sur les 8 à 9 mois pendant lesquels l'eau court dans les canaux. Les débits dérivés s'élèvent alors, pour la seule saison d'arrosage à 10 m³/s environ pour le 1er tron-

çon, 16 à 20 m³/s pour le Jalon, 13 à 15 m³/s pour le secteur aval. Et il faut envisager des chiffres plus élevés encore pour la période des grosses chaleurs estivales, de juillet à septembre. A ce moment, les irrigations consomment sur la plupart des rivières de ce secteur la totalité des débits d'étiage qui ne suffisent même plus à faire face aux besoins. C'est pour remédier à cette insuffisance qu'ont été construits les multiples barrages qui jalonnent aujourd'hui le cours de ces rivières.

Si toutes les rivières du bassin moyen et jusqu'aux plus modestes ont été aussi largement utilisées, à plus forte raison l'Ebre lui-même, rivière abondante et surtout dotée en année moyenne d'étiages relativement confortables.

Aussi dès les temps les plus reculés, les hommes de la vallée ont-ils pris l'habitude de détourner à leur profit des quantités d'eau sans cesse croissantes. Aujourd'hui, comme dans les secteurs déjà étudiés, deux types d'ouvrages desservent les "regadíos" des bords de l'Ebre :

D'abord une multitude de petits canaux, anciens pour la plupart, dont la construction et l'exploitation, ont souvent fait l'objet de luttes épiques entre les villages voisins. L'histoire de l'Aragon est toute pleine de récits de ces affrontements parfois sanglants, toujours interminables, qui avaient pour objet la possession de l'eau. Ces ouvrages se localisent dans trois secteurs :

En amont de Saragosse, dans les provinces de Logroño et Navarre, les prises d'eau se succèdent rapidement. Elles alimentent les canaux de Calahorra, Rincon de Soto, Mendavia, Sartaguda, Milagro et Tudela.

En aval de Saragosse, on signalera les irrigations de Pina (5000 ha) à partir d'aménagements anciens récemment modernisés. Un peu plus bas, Sastago et Escatron possèdent les derniers canaux du bassin moyen.

Au long du cours inférieur, la rareté des surfaces planes limite les possibilités : 27000 ha seulement étaient irrigués en 1970. Il s'agissait essentiellement des "régadios" du bassin de Miravet - Mora de Ebro, puis des terrasses de Cherta, Aldover et Tortosa.

A ce réseau de base, l'époque moderne a ajouté cinq grandes réalisations qui absorbent à elles seules, en moyenne 65 m³/s, plus du 1/10 du débit actuel, mais 110 m³/s environ pendant les 3 à 4 mois de saison chaude ! Dans la mesure où le régime de ces canaux influe sur celui de l'Ebre lui-même, nous indiquerons rapidement les caractéristiques techniques de chacun.

Dès avant les confluences essentielles de l'Ega et de l'Aragon-Arga, le canal de Lodosa soustrait au fleuve 292 hm³ d'eau. Cet ouvrage a été construit de 1915 à 1935 pour irriguer 22000 ha de la rive droite dans les secteurs de Calaborra, Alfaro, Tudela. Il s'agit ici de cultures fourragères et maraichères, grosses consommatrices d'eau en été. Aussi, pendant une centaine de jours, entre juin et septembre, la capacité maximale, 20 m³/s est utilisée, tandis que le canal est généralement à sec en janvier, février et parfois jusqu'au début mars. Or il se trouve que les débits naturels d'étiages dans ce secteur du fleuve, ne dépassent guère une trentaine de m³/s.

Pour assurer une bonne alimentation estivale à cet ouvrage, une régularisation du fleuve, s'imposait. C'est dans cette optique qu'a été construit le bassin de Reinosa.

En aval de Tudela, et sur la rive opposée, le canal de Tauste court parallèlement au fleuve sur une distance de 45 km. C'est un ouvrage plus ancien, datant de 1790, au débit plus réduit : 10 m³/s seulement en période de pointe, lui permettant d'irriguer 10000 ha. Au total, il soustrait à l'Ebre 7,6 m³/s annuels.

Avant d'avoir pu réparer la blessure du canal de Tauste quelques kilomètres plus bas seulement, l'Ebre subit une nouvelle saignée, la plus importante de toutes celles qui s'échangent au long de son cours : celles du canal Impérial d'Aragon. Par elle s'échappent en effet 728 hm³ d'eau, l'équivalent de 23 m³/s annuels. Dans la courbe des apports en fonction de la surface drainée (fig. XIV. HT) une brusque décrochement apparaît au niveau de cet ouvrage soulignant son rôle dans l'évolution des débits d'amont en aval. Remarquable par sa capacité de dérivation, le canal Impérial l'est aussi par son régime, le plus régulier de tous les ouvrages de ce genre. Certes il peut s'assécher lui aussi, mais en général pour peu de temps, entre février et mars. Tout le reste de l'année, il débite de 25 à 30 m³/s. Cette régularité lui est imposée par sa fonction : conçu pour prolonger la navigation en amont de Saragosse, il sert aujourd'hui non seulement à l'irrigation de 27000 ha de cultures mais aussi à l'alimentation en eau de la grande cité aragonaise.

De la prise de Cherra dans un site grandiose au cœur des gorges de l'Ebre inférieur, dérivent deux canaux : le canal de

rive droite et celui de rive gauche. Ces ouvrages, longs respectivement de 27 et 29 km se dirigent vers le delta. Le plus puissant, celui de droite, construit à l'époque de Charles III était destiné à assurer la navigation de Amposta à San Carlos de la Rapita, et à ouvrir ainsi un débouché maritime à l'Aragon et à Saragosse. Cet aspect ayant échoué, les deux canaux servent aujourd'hui à la mise en valeur du delta où ils irriguent respectivement 12000 ha pour celui de rive droite, 11500 pour celui de rive gauche. Leur action est en réalité multiple. De mai à septembre, les eaux qu'ils distribuent assurent la croissance du riz : de novembre à mars elles sont parfois utilisées pour la dessalure des sols, et leur enrichissement grâce aux limons dont elles sont chargées. Le régime des canaux, lié au mode d'utilisation est caractérisé par un fonctionnement au maximum de leur capacité d'avril à septembre. En hiver par contre, ils sont fréquemment à sec, en particulier de novembre au début mars, sauf dans le cas d'utilisation aux fins indiquées ci-dessus. Au total ces canaux enlèvent à l'Ebre près de 30 m³/s en moyenne, mais pris pour l'essentiel pendant les six mois de saison chaude, ce qui porte alors les prélèvements à 43 m³/s.

3°/ L'irrigation : une activité saisonnière qui tend à accentuer l'irrégularité des rivières :

Comme on vient de le voir, la plupart des canaux fonctionnent au maximum de leur capacité pendant les trois ou quatre mois les plus chauds de l'année, de juin à septembre. A ce moment les 11 grands canaux du bassin débitent ensemble environ 210 m³/s dont 110 pour ceux qui sont branchés sur les affluents de la rive

gauche, 100 pour ceux qui dérivent du fleuve. Au total on peut estimer à 260 ou 270 m³/s les débits pris à l'Ebre pendant cette saison. Même si l'on tient compte du fait qu'une petite partie de ces eaux retourne à la rivière, il reste évident que ces valeurs dépassent de loin celles des étiages. En l'absence d'ouvrages de régularisation pratiquement toutes les rivières du bassin, et l'Ebre lui-même à partir du canal de Lodosa seraient ainsi mis à sec durant la plus grande partie de l'été. D'ailleurs, malgré les bassins chargés d'évier les débits vers la saison chaude, de nombreux cours d'eau voient leurs étiages considérablement amoindris par ces prélèvements. C'est le cas du Gallego par exemple, c'est aussi et surtout le cas du Jalon et des petites rivières de la rive droite, lesquelles peuvent être totalement asséchées par les interventions humaines.

Si la consommation estivale est en effet au point d'être capable de mettre à sec la quasi totalité du bassin à l'exception de la zone proche des sources, en hiver par contre, elle est très réduite. En particulier, au cours des mois de janvier et février, la plupart des canaux sont à sec. Les rivières n'en retrouvent pas pour autant leur écoulement naturel car il s'agit alors de réserver une partie de l'eau qui court pour les besoins de l'été suivant.

B - LES BARRAGES -

Comme on vient de le voir, le bon fonctionnement d'un réseau de canaux aussi dense et aussi puissant ne peut être assuré

sans une action efficace sur les débits, consistant à faire des réserves pendant les périodes d'abondance pour les distribuer ensuite pendant les périodes de pénurie. A la politique de développement des canaux il a donc fallu associer une politique de construction de barrages, en vue du contrôle de l'écoulement et de la régulation des débits.

D'autre part, dans le cadre de son effort de promotion industrielle et énergétique, l'Espagne s'est efforcée depuis 1950 surtout, d'équiper son potentiel hydroélectrique.

Le résultat de ce double effort, c'est la présence aujourd'hui dans le bassin de l'Ebre, d'une cinquantaine de barrages, de toutes dimensions, qui accidentent le cours des rivières et en modifient parfois profondément le régime (v. fig. XIII H.T.). Ces barrages répondant à des buts différents ont un fonctionnement lui-même différent, et par conséquent une action nuancée sur le régime des rivières :

1°/ Les barrages hydroélectriques, installés pour la plupart sur des rivières à régime nival se remplissent essentiellement en été pour les petits barrages des hautes vallées pyrénéennes, au printemps et encore au début de l'été pour les ouvrages plus importants construits sur le Cinca (El Grado par exemple) ou sur la Pallaresa (barrages de Tremp, de Camarasa). Nous trouvons un rythme semblable pour le bassin de Mequinzenza sur l'Ebre. Pour ce type de retenue, le volume d'eau emmagasiné est maximum en été alors que les débits autorisés à sortir sont réduits. Au contraire en hiver, les besoins énergétiques étant importants, les débits de sortie

sont forts et les bassins se vident progressivement.

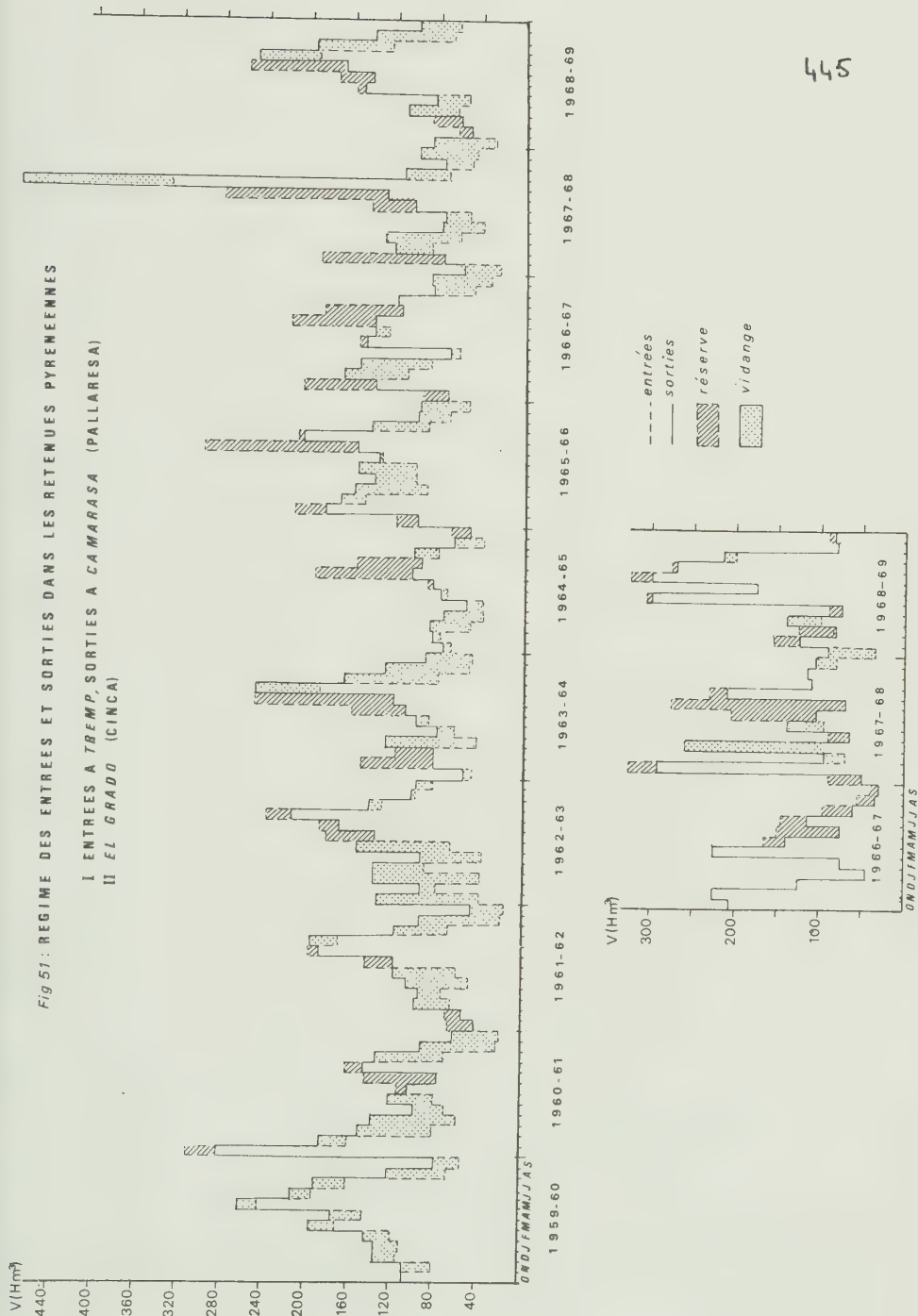
Il y a donc là un premier type d'ouvrage qui en ce qui concerne le fleuve tend à accentuer son régime naturel et va ainsi dans le même sens que l'irrigation. Par contre, la mise en réserve des eaux estivales exerce un effet régulateur sur les torrents pyrénéens à régime nival et par conséquent à maximum d'été.

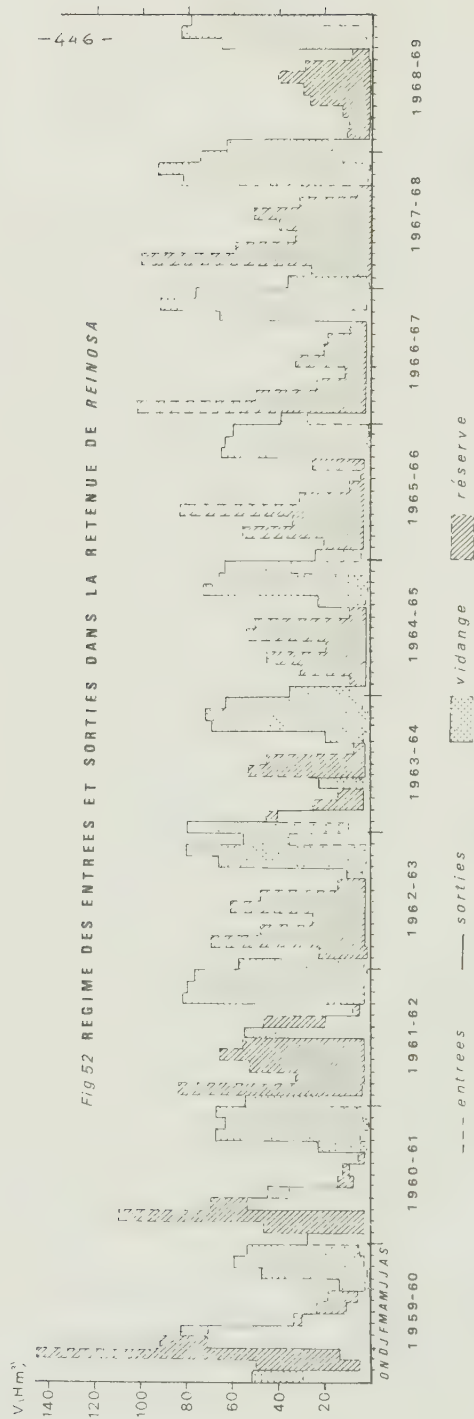
2°/ Les barrages destinés uniquement à l'irrigation sont ceux qui présentent le régime le plus simple. Sur la rive droite, aux organismes réduits, les bassins sont tous de petite dimension. Malgré ce, leur remplissage est laborieux et se fait tout au long de l'année, de novembre à juin. Ils libèrent ensuite leurs réserves au cours des mois de juillet, août, septembre et octobre. Sur la rive gauche, les problèmes sont différents. Les rivières plus abondantes susceptibles de dangereuses colères, sont de plus très chargées en troubles. Les bassins (la Peña sur le Gallego, Barasona sur l'Esera) se remplissent rapidement lors des pluies d'automne. Au début du printemps, vers la fin mars, on laisse le niveau baisser quelque peu afin de permettre le passage des crues de printemps, les plus turbides. Ensuite on referme les vannes et la réserve se reconstitue. Elle permettra d'assurer tout au long de l'été les débits nécessaires à l'irrigation. A la sortie du bassin de la Pena par exemple ces débits sont artificiellement maintenus à des niveaux élevés, le plus souvent supérieurs à 20 m³/s jusqu'à la fin du mois d'août.

3°/ De nombreux barrages du bassin de l'Ebre ont une double destination, agricole et énergétique. C'est le cas de la retenue

Fig 51: REGIME DES ENTREES ET SORTIES DANS LES RETENUES PYRENEENNES

I ENTREES A T8EMP, SORTIES A CAMARASA (PALLARASA)
II EL GRADO (CINCA)





Volumes d'eau (en Hm^3) emmagasinés au 1er de chaque mois.

de l'Ebre, dans la région de Reinosa, de celle de Yesa sur l'Aragon.

Tout à l'amont du fleuve, la retenue de Reinosa a été construite essentiellement dans le but d'assurer une bonne alimentation aux canaux d'irrigation. Son régime est simple. La courbe des volumes d'eau emmagasinés au 1er de chaque mois montre une augmentation progressive de la réserve, de novembre à juin. Après un palier de un mois environ, le niveau baisse rapidement jusqu'en septembre et parfois même octobre. Le débit de sortie est alors pendant cette période le plus souvent supérieur à 30 m³/s. Il était de 0,1 à 1 m³/s en hiver. A ce niveau, l'homme a réussi à inverser totalement le régime de la rivière.

Le bassin de Yesa est beaucoup plus ambivalent, et son régime par conséquent plus complexe. Les barrages de ce type doivent en effet fournir de l'eau à deux époques de l'année : en hiver, pour la production d'électricité, en été pour l'irrigation. Dans ces conditions, le remplissage est essentiellement automnal, mais il faut le reprendre et le compléter au printemps, en mars, en avril ou mai. La vidange se fait surtout à partir de la fin du printemps et tout au long de l'été, et à nouveau, mais dans une moindre mesure, en hiver.

L'ensemble de ces interventions humaines, on le voit, s'avère très contradictoire, variable d'une rivière à l'autre, difficile à mesurer dans un ensemble aussi vaste. S'il est possible d'avancer le chiffre global de 200 m³/s (le 1/3 du module !) pour la totalité des prélèvements effectués sur les débits, il est plus délicat de préciser l'impact de ces actions sur les variations saisonnières. Nous tenterons toutefois une approche de ce problème dans le chapitre suivant.

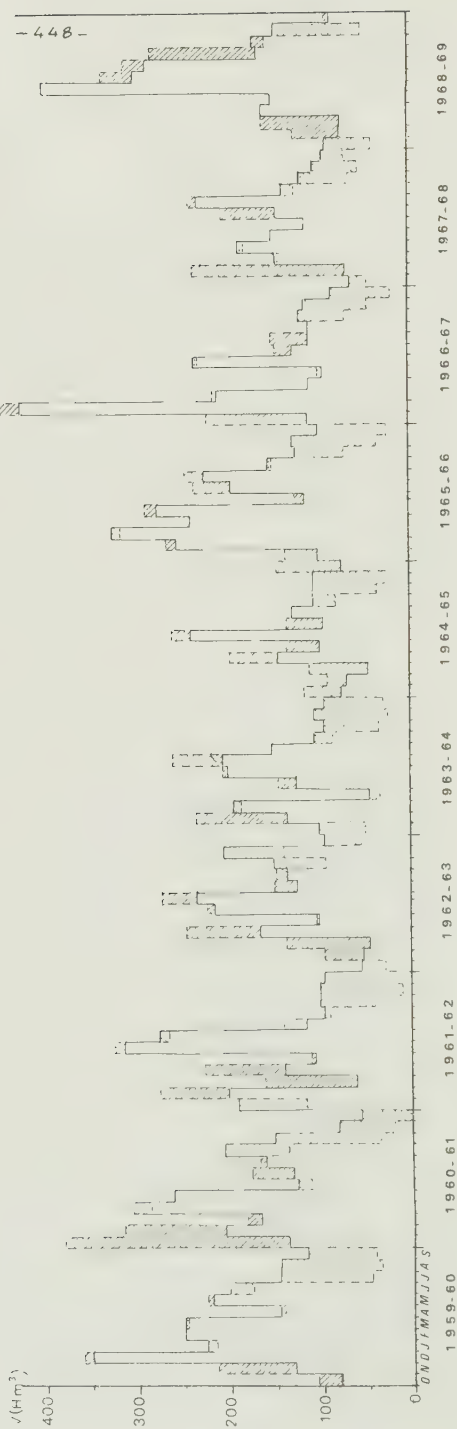


Fig 53- REGIME DES ENTREES ET SORTIES DANS LES BASSINS
 I YESA (Aragon)
 II OLIANA (Segre)

--- entrées.
 --- sorties.
 [] réserve.
 [] vidange.

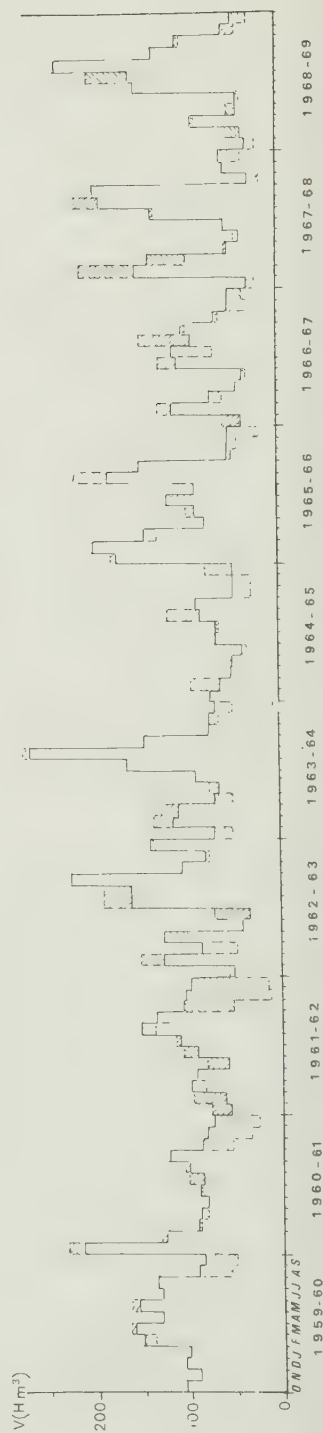


TABLEAU XXIX : BARRAGES EN EXPLOITATION

Barrage	Rivière	Année de mise en eau	Utilisation	Capacité utile en Hm3	
Pon Ebre	Ebre	1944-45	E + I	540	
Sebrón	"	1960	E	20,1	
Flix	"	1948	E + I	4,	
Ribarroja	"	1969	E	136	
Mequinénza	"	1966	E	101,	
<u>Affluents de rive droite</u>					
Mansilla	Najerilla	1960	E + I	50	251
Gonzales Lacasa	Alberca	1962	I	32,9	
La Tranquera	Piedra	1960	I	84	
Mezalecha	Huerva	1906	I	3,7	
Las Torcas	"	1946	I	7,5	
Moneva	Aguas Vivas	1929	I	8	
Almochuel	"	1914	I	1,2	
Cueva foradada	Maitán	1920	E + I	28	
Santiclea	Guadalope	1932	I	18,9	
Estanca de Alcañiz	"	1944	I	8,5	
Gallipuen	Guadalopilio	1927	I	3,5	39,4
Pena	Pena	1930	I	18,5	
<u>Affluents de rive gauche</u>					
Ullivari	Zadorra	1957	E	9,2	669
Urrunaga	Sta Engracia		E	69,9	
Yesa	Aragon	1958-59	E + I	470	
Alloz	Salad	1933	E + I	83,4	
Irabia	Irati	1925	E	13,5	
Escarra	Escarra	1957		4,6	
Alto de Aguas Limpias	Aguas Limpias	-	E	18,3	
Alto Caldares	Caldares	-	E	17	
La Peña	Gallego		I	13,1	
Ardisa	"	1929	I	5	
La Sotonera	Soten	1950-65	I	81	237
San Bartolomé	Arba	1939	I	6,1	

E : Production d'électricité.

I : Irrigation.

TABLEAU XXIX : BARRAGES EN EXPLOITATION (suite)

Barrage	Rivière	Année de mise en eau	Utilisation	Capacité utile en hm3
<u>Bassin du Sègre</u>				
Isuela	Arguis	1934	I	
Barasona	Esera	1933	E + I	61,2
Plandescun	Cinqueta	1934	E	0,8
Pineta	Cinca	1920	E	0,3
Mediano	"	1968		436
El Grado	"	1966-67	E	160
Cavallers	N. de Tor	-	E	15,6
Escalaes	N. Ribagorzana	1955	E	120,3
Sta Ana	"		E + I	236,6
Canelles	"	1961	E	101
Lagos Capdella	Flamiséll	1914	E	49,9
Lagos Espor y Peguera	N. Pallaresa	-	E	9,4
Boren	"	1958	E	0,8
La Torrasa	"	1955	E	2,1
Talarn ou Tremp	"	1916	E	184,6
Terradets	"	1935	E	23,2
Camarasa	"	1920	E	112,6
San Lorenzo	Sègre	1930-35	E + I	3,3
Oliana	"	1959	E + I	75

E : production d'électricité.

I : Irrigation.

C H A P I T R E 11

LE R E G I M E D E L ' E B R E

SECTION I - L'ABONDANCE -

A - L'ABONDANCE MOYENNE . SON EVOLUTION L'AMONT EN AVAL -

1° / L'augmentation progressive des modules bruts :

L'échelonnement relativement régulier des affluents, en particulier sur la rive gauche qui reçoit les apports les plus importants, entraîne une augmentation assez régulière elle aussi des débits. Cependant, la courbe d'évolution des modules par rapport aux surfaces drainées, (v. Fig XIV. H.T.), nous suggère deux remarques :

Tout d'abord, dans le mouvement d'ensemble de la courbe, on remarque un palier médian correspondant à la dépression centrale doublement défavorisée on le sait, puisque les apports y sont plus réduits et les pertes plus importantes.

De plus, apparaissent dans le détail un certain nombre d'encoches correspondant à la saignée des grands canaux. Ces encoches se dessinent bien en particulier sur le palier médian à la formation duquel d'ailleurs, elles participent.

Ainsi, en ce qui concerne l'évolution des débits d'aval, trois sections s'individualisent nettement :

- En amont, une section de pente forte et régulière, traduisant un accroissement important et constant des volumes liquides, jusqu'à 26000 km² de bassin versant et 335 km de cours, c'est à dire jusqu'à la confluence de l'Aragon. En effet tout au long de ce cours supérieur, rivières cantabriques et rivières ibériques se succèdent harmonieusement pour augmenter progressivement le débit du fleuve. C'est le seul secteur où versant de rive droite et versant de rive gauche participent à peu près également à l'alimentation du collecteur. Le débit passe ainsi de 9,1 m³/s à Arroyo (469 km²) à 63,3 m³/s à Miranda (5489 km²), 121 m³/s à El Cortijo (10356 km²) et 125 m³/s à Mendavia pour 12000 km². On constate en particulier qu'entre Miranda et El Cortijo, le débit a doublé en même temps que la surface. Ce premier secteur de la courbe se termine par un gonflement important correspondant à l'apport fondamental de l'Aragon et de l'Arga. Aussi, entre Mendavia et Castejon, le débit double-t-il à nouveau pour une surface elle aussi multipliée par deux. Désormais, avec un module de 240 m³/s, ce qui n'était encore qu'une rivière assez modeste, prend des allures de véritable fleuve.

- A partir du confluent de l'Aragon et jusqu'à celui du Sègre, sur 376 km de cours correspondant à un accroissement du

bassin de 26000 à 58000 km², la courbe des débits dessine un palier interrompu seulement en son milieu par la contribution du Gallego ; contribution quelque peu estompée d'ailleurs par les irrigations du haut-Aragon, de la vallée du Gallego, des Monegros et, plus loin, du bas Aragon. Pour l'Ebre, c'est un peu ici, la "traversée du désert". L'image est valable à plus d'un point de vue. En effet, d'abord le ruissellement affluent est assez misérable. Mis à part le Gallego, l'Ebre ne reçoit ici que l'Arba, lequel représente 4 à 5 m³/s seulement, le Jalon (14 m³/s) et ses compagnes de versant ibérique, plus pauvres encore. D'autre part, le milieu traversé ici par le fleuve relève du domaine semi-aride, ce qui entraîne des pertes considérables.

Ainsi, mal soutenus, par les apports affluents, affaiblis par l'évaporation, les infiltrations et les prélèvements humains, les débits n'évoluent pas beaucoup entre les deux extrémités de ce secteur. A Saragosse, ils sont encore sensiblement les mêmes qu'à Castejon. A Mequinenza, grâce au renfort du Gallego essentiellement, puis du Guadalope, ils se sont élevés à 346 m³/s soit un accroissement de 96 m³/s seulement pour 32000 km² de plus de bassin versant.

- A partir de Mequinenza, le 3ème secteur de la courbe se caractérise à nouveau par une pente forte, traduisant une augmentation de débit plus importante encore qu'à l'amont. A vrai dire, la conception du graphique masque la différence essentielle entre l'alimentation progressive d'amont qui est le fait de rivières modestes mais nombreuses et bien échelonnées, et l'apport brutal et pratiquement unique, au niveau de Méquinenza du vaste réseau Sègre-

TABLEAU XXX : LES MODULES DE L'EBRE A DIFFERENTS NIVEAUX DE SURFACE
COMPARES A CEUX DE QUELQUES FLEUVES IBERIQUES ET
DE LA GARONNE.

	E B R E			D O U R O		
	Stations	$\bar{Q}$ (m ³ /s)	$\bar{q}$ (l/s/km ²)	Stations	$\bar{Q}$ (m ³ /s)	$\bar{q}$ (l/s/km ²)
<5000 km ²	Arroyo (469 km ²) (469 km ²)	9,2	19	Molinos de D. (135 km ²)	3,5	2,4
5000 à 10.000km ²	MIRANDA de E. (5 481 km ²)	62,7	11,4	Gormaz (5 055 km ²)	22	4,3
10 000 à 20 000km ²	MENDAVIA (12 010 km ²)	22	10,1	Herrera (12 740 km ²)	40,7	3,2
20 000 à 40 000km ²	CASTEJON (25 194 km ²)	243,5	9,7	Villamarciel (36 570 km ²)	144,7	3,9
40 000 à 60 000km ²	SARAGOSSE (40 434 km ²)	243,1	6,0	Toro (41 808 km ²)	150	3,5
60 000 km ²	TORTOSA (1) (84 230 km ²)	545	6,7	Embouchure (97 620 km ²)	640	6,5
	TORTOSA (2)	745	8,7			

	G A R O N N E			M O N D E G O		
<5 000 km ²	Valentine (2 230 km ²)	54,1	24,3			
10 000 à 20 000km ²	Portet (9 980 km ²)	182	18,2			
20 000 à 40 000km ²	Malause (30 900 km ²)	137	14,1			
40 000 à 60 000km ²	Bordeaux (55 000 km ²)	600	11,7	Coimbre (50 000 km ²)	86	16

(1) Débit réel

(2) Débit naturel.

T A G E			G U A D I A N A			
Stations	$\bar{Q}$ (m3/s)	$\bar{q}$ (l/s/km2)	Stations	$\bar{Q}$ (m3/s)	$\bar{q}$ (l/s/km2)	
Peralesjös (420 km2)	5,4	13,1				< 5000 km2
Bolarque (7 402 km2)	41,5	5,6				5000 à 10 000 km2
Aranjuez (9 340 km2)	33,9	3,5				10 000 à 20 000 km2
						20 000 à 40 000 km2
Alcantara (52 170 km2)	298	5,7				40 000 à 60 000 km2
Embouchure (71 364 km2)	450	5,5	Embouchure (67 000 km2)	130	1,65	60 000 km2

G U A D A L Q U I V I R			J U C A R			
Stations	$\bar{Q}$ (m3/s)	$\bar{q}$ (l/s/km2)	Stations	$\bar{Q}$ (m3/s)	$\bar{q}$ (l/s/km2)	
El Posito (1 332 km2)	18	13,5				< 5 000 km2
Valtorno (18 000 km2)	39	1,9	Sumararcel (17 600 km2)	60	3,4	10 000 à 20 000 km2
Posadas (33 000 km2)	73	2,2	Embouchure(1) (22 415 km2)	10	0,5	20 000 à 40 000 km2
			Embouchure(2)	70	3,1	
Seville (52 050 km2)	183	3,5				40 000 à 60 000 km2

Cinca. Le Matarañá et les petites rivières du type torrent méditerranéen qui débouchent sur l'Ebre à travers les gorges du cours inférieur, ne jouent en effet qu'un rôle secondaire. Quoiqu'il en soit, ces 200 m³/s qui s'ajoutent ainsi brusquement aux 346 m³/s observés à Mequinenza changent considérablement la physionomie du fleuve et lui donnent cette belle ampleur et cette puissance que l'on peut apprécier au droit de Cherta ou au pied du château de Bénisanet dans la dépression de Mora de Ebro. Au total, c'est en moyenne 545 m³ que le fleuve déverse à chaque seconde dans la Méditerranée, chiffre qui lui confère le 2^e rang parmi les fleuves ibériques, derrière le Douro, et une place d'honneur dans le concert des fleuves méditerranéens.

2° / Les variations des modules spécifiques :

En ce qui concerne les modules spécifiques, l'Ebre obéit à la loi la plus courante de la diminution vers l'aval. Mais cette évolution ne se fait pas ici sans soubresauts, sans reculs en arrière, en particulier à chaque confluence avec l'un des grands tributaires pyrénéens.

Au départ, et dans tout le secteur cantabrique du cours, l'écoulement reste élevé, mais modérément pour un bassin amont, surtout, si l'on compare les modules de l'Ebre à ceux des cours supérieurs des affluents pyrénéens, et de bien des fleuves européens aux sources plus montagnardes, à commencer par la Garonne. Celle-ci en effet écoule encore à Valentine, plus de 24 l/s/km², à l'issue de 2230 km². L'Ebre à Arroyo ne débite déjà plus de 19 l/s alors

que son bassin n'atteint pas 500 km². Ce chiffre s'abaisse ensuite progressivement pour atteindre 12 au voisinage de "las Conchas de Haro" c'est-à-dire, à la sortie du bassin supérieur.

A las Conchas de Haro commence le long parcours à travers la Dépression Centrale, parcours difficile, au long duquel se multiplient les causes de déficit, alors que les apports sont pour un temps, beaucoup plus mesurés. Aussi, dans la traversée de la Rioja, c'est à dire la partie amont de la Dépression Centrale, les modules baissent rapidement de 12 à 10 puis 7 l/s/km² environ avant la confluence de l'Aragon. L'arrivée de cette rivière qui roule 14 l/s/km², grossie en fin de parcours des eaux de l'Arga (20 l/s/km²), fait provisoirement remonter le débit du fleuve à 9,5 l/s/km². Puis la chute reprend, inexorable. A Saragosse, on est à 6 l/s/km², à Méquinenza, à 4,9. Alors se produit un phénomène qui, en Europe au moins, est propre au monde méditerranéen. Le module, à 170 km de l'embouchure, s'élève à nouveau, sous l'effet du puissant apport du Sègre. A Tortosa il atteint 6,7 l/s/km². Cet accroissement du module spécifique à l'aval, que l'on retrouve sur le Guadalquivir par exemple, ou encore sur le Douro et le Tage, n'est possible que dans le cas où un affluent bien alimenté, donc montagnard, conflue au voisinage du débouché, chose inconcevable dans la plus grande partie de l'Europe du Nord et de l'Ouest, étant donné la largeur des plaines. En Méditerranée au contraire, la présence de montagnes élevées au voisinage de la mer permet cette anomalie dans le cas de fleuves nés au-delà de la ceinture de hautes terres.

Ce soutien de dernière heure de la part du Sègre, permet à l'Ebre d'atteindre à son embouchure un module de 545 m³/s et 6,7 l/s/km² et par conséquent de faire bonne figure auprès des autres fleuves espagnols, en particulier ceux du versant méditerranéen. Par contre, il reste un fleuve modeste si on le compare à ses semblables européens et d'abord à la Garonne, la différence qui est apparue dès l'ament entre les deux fleuves pyrénéens, s'est maintenue au long des cours moyens et jusqu'à l'aval comme le montre sur le tableau des modules comparés, la considération des débits à chaque niveau de surface.

B - ABONLANCE REELLE, ABONDANCE NATURELLE -

Tous les chiffres sur lesquels nous avons raisonné jusqu'à présent en ce qui concerne le fleuve lui-même, correspondent à la situation actuelle, telle qu'elle résulte des conditions naturelles et de l'action des hommes. Or nous avons vu que l'impact humain était ici plus important que dans la plupart des pays d'Europe occidentale, du fait, en particulier des impératifs climatiques. L'homme est donc, et ceci depuis longtemps, un facteur important du déficit hydrique. Depuis 1966, les hydrologues de la Confédération de l'Ebre calculent ce déficit pour chaque bassin versant, afin de pouvoir retrouver le régime naturel du fleuve et de ses affluents. Grâce à ces travaux, nous pouvons donner ci-joint (tableau XXXI) un tableau récapitulatif des volumes ainsi consommés à différents niveaux du fleuve. Nous avons calculé les débits corres-

pondants ce qui nous permet de rétablir les modules naturels aux principales stations.

Ainsi constatons-nous que, dans le bassin supérieur, de climat humide, dépourvu de plus de grandes agglomérations, la consommation par les hommes est très réduite, 0,3 m³/s au total, et les débits à Miranda ne sont pratiquement pas modifiés. Il est vrai que si l'on prenait en compte l'évaporation à la surface de la retenue de Reinos, on verrait le montant des pertes s'élever sensiblement.

A Mendavia, l'influence des irrigations sur le versant ibérique et des pompages sur le Zadorra, élève le déficit d'origine technique à 10 m³/s. Ce chiffre ne représente encore que le 1/20 des volumes dérivés sur le 1/7 de la surface totale.

A partir de la section suivante, le déficit d'origine humaine s'accroît rapidement avec le départ des premiers grands canaux, celui de Lodosa sur l'Ebre, des Bardenas sur l'Aragon. Au total, le débit de Castejon est grevé de 50 m³/s, ce qui porte le module naturel à près de 300 m³/s.

A Saragosse, la consommation ayant doublé c'est un débit de 350 m³/s environ qui circulerait dans le lit du fleuve en l'absence de pompages.

De Saragosse, à Tortosa le volume total des eaux utilisées par l'homme double à nouveau, du fait de la grande extension des surfaces irriguées dans cette zone qui est la plus sèche du Nord de l'Espagne. Saragosse étant à peu près au centre du bassin (à l'issue de 40 434 km² sur un total de 85 000), on en déduit que

TABLEAU XXXI : BILAN DE LA CONSOMMATION D'EAU DANS LE BASSIN
DE L'EBRE

	Vol. consommés (Hm3)	Lames d'eau équivalentes (mm)	Débits équivalents (m3/s)
<u>BASSIN SUPERIEUR</u>			
Oca	4,96	4,5	0,15
Nela	1,28	1,1	0,04
Jerea	0,35	1,1	0,1
Total à <u>MIRANDA</u>	10,63	1,9	0,30
<u>BASSIN MOYEN I</u>			
Zadorra	189,05	139,0	6,0
Tiron	36,25	29,1	1,1
Najerilla	27,84	25,3	0,9
Iregua	67,62	98,0	2,1
Total à <u>MENDAVIA</u>	452,80	37,7	14,3
<u>BASSIN MOYEN II</u>	321,06	-	10,1
Canal de Lodosa	321,06	-	10,1
Ega	20,95	14,4	0,6
Cidacos	17,22	33,9	0,5
Aragon	596,14	70,0	18,9
Alhama	85,30	74,0	2,7
Total à <u>CASTEJON</u>	1545,91	61,0	49,0
<u>BASSIN MOYEN III</u>			
Queilles	20,33	-	0,6
Canal de Tauste	241,93	-	7,6
Canal Impérial d'Aragon	812,38	-	25,7
Arba	59,84	26,6	1,9
Jalon	386,18	39,7	12,2
Total à <u>SARAGOSSE</u>	3 000,00	74,1	95,4

TABLEAU XXXI : BILAN DE LA CONSOMMATION D'EAU DANS LE BASSIN DE L'EBRE (suite)

	Vol. consommés (Hm3)	Lames d'eau équivalentes (mm)	Débits équivalents (m3/s)
<u>BASSIN MOYEN IV</u>			
Huerva	47,96	47	1,5
Gallego	370,40	92,4	11,7
Aguas vivas	29,75	22,3	0,9
Total à <u>SASTAGO</u>	3 500,00	71,5	111,0
<u>BASSIN MOYEN V</u>			
Martin	62,28	29,5	2,0
Guadalope	125,17	32,1	4,0
Total à <u>MEQUINENZA</u>	3 936,00	68,5	125,0
<u>BASSIN INFERIEUR</u>			
Sègre	969,11	75,2	30,7
Cinca	619,25	63,8	20
Matarra	35,42	20,5	1,1
Canal de Cherta (droite)	467,25	-	14,8
Canal de Cherta (gauche)	411,50	-	13,4
TOTAL A <u>TORTOSA</u>	6 573,00	78,0	208
TOTAL au débouché	6 503,00	76,5	206

les quantités d'eau prélevées sont à peu près équivalentes dans les deux moitiés du bassin versant.

Au total, c'est un débit de plus de 200 m³/s qui est soustrait annuellement par l'homme au grand fleuve espagnol dont le module naturel s'élèverait donc à 745 m³/s au minimum, et le module spécifique à 8,7 l/s/km².

C - LES FLUCTUATIONS DU MODULE -

1°/ La méthode d'approche du problème :

Nous n'avons parlé jusqu'à présent que de moyennes, c'est à dire de valeurs abstraites qui reflètent plus ou moins bien la réalité selon le tempérament des rivières. C'est pourquoi il convient de voir l'importance des variations autour de cette moyenne et les valeurs les plus couramment enregistrées. Nous avons donc orienté nos recherches dans deux sens : l'étude des fréquences d'une part, celle de l'irrégularité interannuelle d'autre part.

L'étude des fréquences est basée sur les histogrammes de fréquence et sur la répartition statistique des débits annuels. L'irrégularité quant à elle est exprimée par les paramètres habituels de dispersion : étendue, coefficients de variation et d'irrégularité interannuelle.

2°/ Fréquences de débit et irrégularité des modules :

C'est à l'amont que le fleuve présente la plus grande

TABLEAU XXXII : IRRÉGULARITÉ INTERANNUELLE À DIFFÉRENTES STATIONS DU COURS DE L'ÈBRE

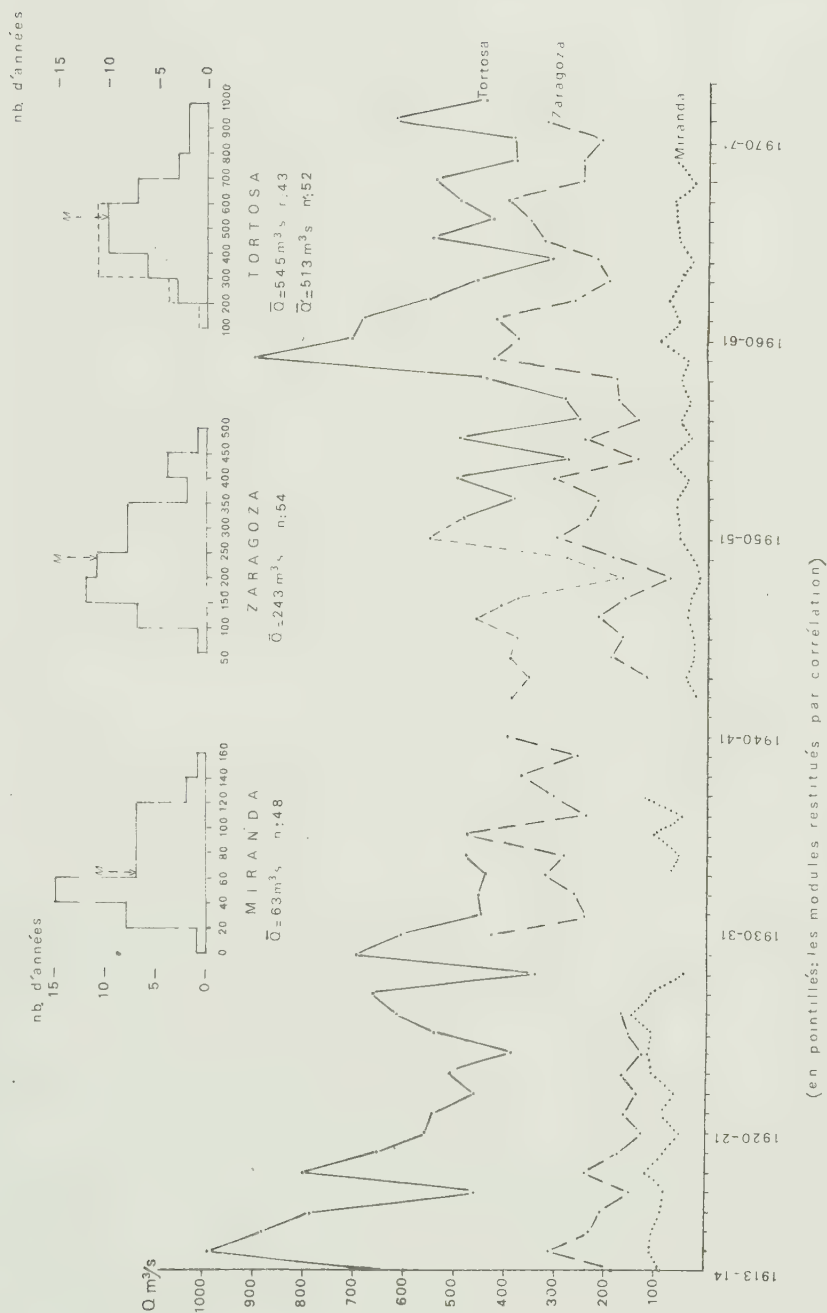
Stations	Années d'obser- vation	$\bar{Q}$	Q MAX	Q mm	$\frac{M}{m}$	écart de M et m à $\bar{Q}$ en %	σ	$\frac{\sigma}{\bar{Q}}$
Arroyo Miranda de E.	1913-14 à 1969-70	9,2	16 (1935-36)	5,6 (1955-56)	2,6	+ 74 - 39	2,6	0,28
	1913-14 à 1969-70	62,7	149 (1918-19)	17,7 (1948-49)	8,4	+ 92 - 73	28,9	0,46
Castejon	1918-19 à 1969-70	243,5	442 (1959-60)	70 (1948-49)	6,3	+ 81 - 71	142,8	0,58
Saragosse	1913-14 à 1969-70	243,1	481 (1935-36)	73 (1948-49)	6,6	+ 97 - 69	97,4	0,40
Tortosa	1913-14 à 1969-70	547,3	992 (1914-15)	262 (1956-57) (168) ^x	3,7 (6) ^x	+ 81 - 52 (- 70) ^x	146,3	0,26

(x) Les chiffres entre parenthèses correspondent aux débits de 1948-49 déterminés par un calcul de correspondances.

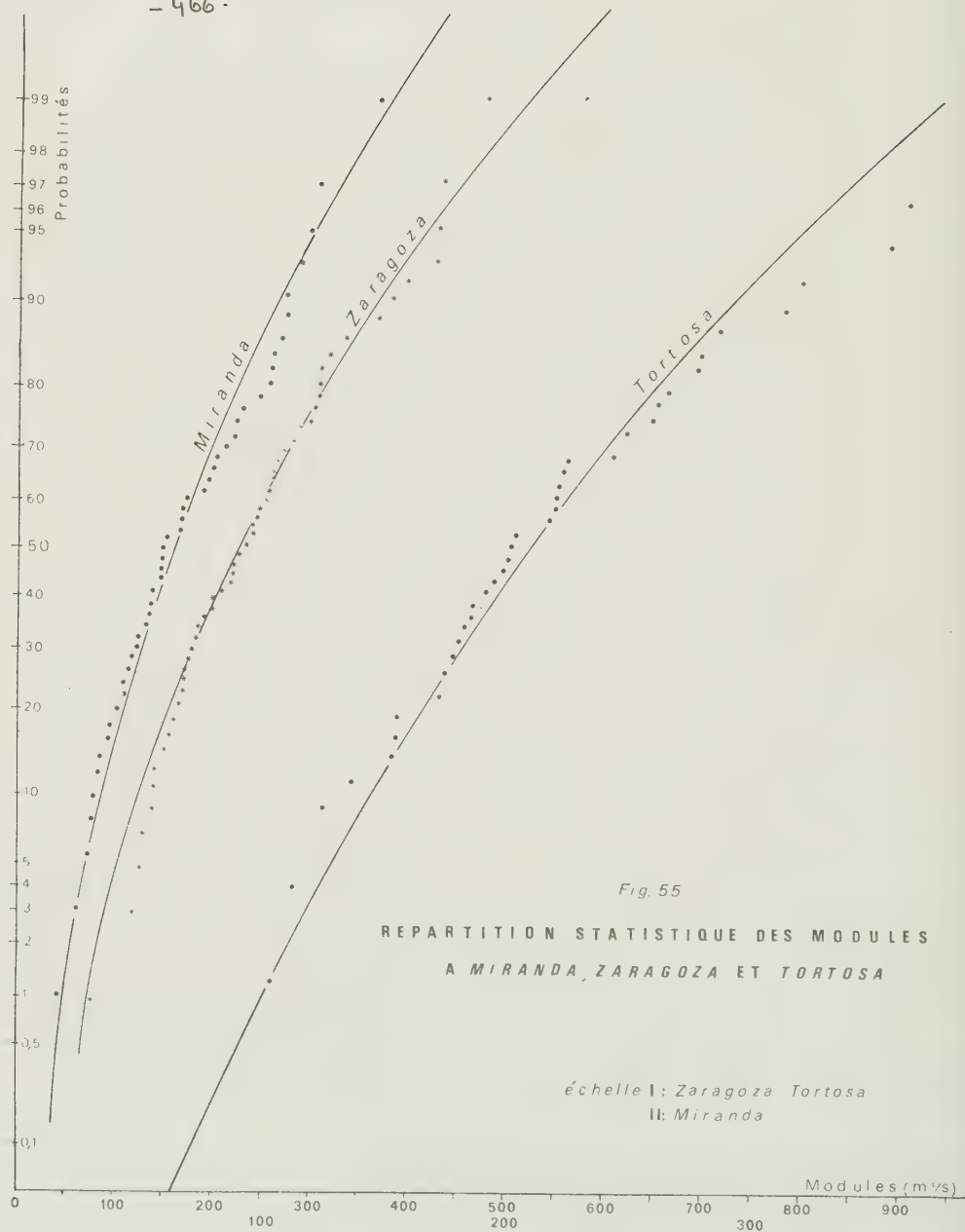
irrégularité interannuelle. En effet, pour une moyenne de 62,3 m³/s on a pu enregistrer à Miranda des débits extrêmes de 17,7 m³/s et 149 m³/s, soit - 73 % et + 92 % de variation par rapport à cette moyenne. A l'intérieur de ces extrêmes, la répartition des modules est dissymétrique. La plus grande fréquence se situe entre 40 et 60 m³/s c'est à dire au-dessous de la moyenne et beaucoup plus près du minimum que du maximum. Cette dissymétrie de l'histogramme, tout comme la répartition, sur le papier gaussien des points expérimentaux, nous a montré que cette série n'obéissait pas à la loi de Gauss. Parmi les possibilités qui s'offraient à nous en matière d'ajustement mathématique, nous avons opté pour la loi / non seulement pour les résultats satisfaisants qu'elle a donné, mais aussi pour la commodité de lecture qu'elle offre puisque les débits peuvent être lus directement sur le graphique sans qu'il soit nécessaire comme dans la loi de Gibrat de faire une conversion à partir des logarithmes. La courbe obtenue montre que les débits compris entre 20 et 120 m³/s, c'est à dire dans la zone de plus forte densité de fréquence de l'histogramme, représentent 94 % des cas. Les valeurs situées au-dessus et au-dessous de ces chiffres n'ont qu'une fréquence très faible. Un débit de 150 m³/s se produit en moyenne une fois par siècle. Le débit de fréquence millénaire serait de l'ordre de 195 m³/s. A l'inverse, un module comme celui enregistré en 1948-49 représente un phénomène d'ordre centenaire.

L'Ebre moyen à Saragosse est un peu moins irrégulier puisque le rapport des extrêmes est tombé à 6,6 contre 8,4 en amont. L'élément modérateur sur le trajet Miranda-Saragosse est constitué par l'Aragon comme le prouve la brusque chute de valeur des paramètres de

Fig. 54 : LES MODULES DE L'EBRE A MIRANDA ZARAGOZA ET TORTOSA



- 466 -

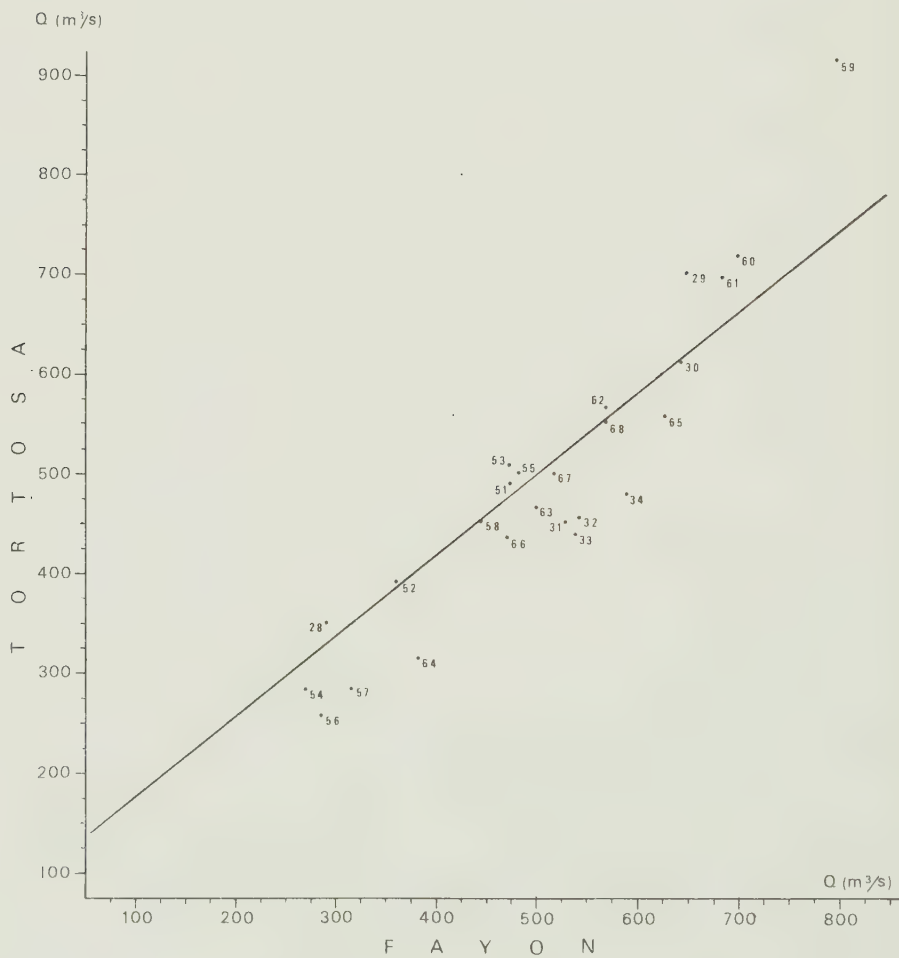


dispersion au niveau de Castejon, puis, leur légère remontée lorsque s'estompe l'influence de cette rivière. La répartition des modules reste dissymétrique, les débits étant plus souvent inférieurs que supérieurs à la moyenne mais les écarts à cette moyenne sont plus importants dans le sens positif que dans le sens négatif.

En ce qui concerne les fréquences, nous lisons sur la courbe ajustée que les débits de probabilité 5 % et 95 % ont pour valeur respectivement 105 et 420 m³/s. Donc, 9 ans sur 10, les modules sont compris entre ces deux chiffres. La valeur de fréquence centenaire est ici de 525 m³/s et celle de fréquence milliénaire : 625 m³/s environ. Par contre le très faible module enregistré en 1948-49, tout comme à Miranda, ne se produit guère qu'une fois tous les 100 ans en moyenne, ce qui montre une fois de plus le caractère tout à fait exceptionnel de cette année-là.

A Tortosa et sur le cours inférieur, la situation a sensiblement changé. Les influences diverses qui se combinent à ce niveau entraînent une certaine pondération que traduit en particulier le coefficient de variation $\sigma / \bar{Q}$. D'autre part, le rapport des extrêmes n'est plus que de 3,7, chiffre remarquable pour un fleuve méditerranéen et ibérique. Il est vrai que la série hydrométrique dont nous disposons pour Tortosa est un peu moins longue que celle de Miranda et de Saragosse, et surtout elle présente une regrettable lacune au niveau des graves événements hydrologiques de l'année 1948-49. Etant donné que la connaissance précise de ces faits risquait de changer considérablement nos conclusions, nous avons essayé de retrouver le module de cette année exceptionnelle en établissant une corrélation entre les débits de Tortosa et ceux

CORRELATION ENTRE LES DEBITS DE FAYON ET CEUX DE TORTOSA



de la station de Fayon éloignée de 80 km environ et où l'Ebre présente très sensiblement le même régime. Bien que cette station ne soit pas aussi sûre que celle de Tortosa, la corrélation s'est révélée satisfaisante et nous a permis, avec une marge d'erreur qui ne doit pas être très importante, de combler la lacune de notre série entre 1942 et 1950. En particulier, nous avons pu de cette façon évaluer le débit de l'année 1948-49. Celui-ci se serait élevé à 168 m³/s environ, ce qui porterait à 6 le coefficient d'irrégularité interannuelle. C'est le chiffre le plus bas rencontré à l'aval d'un grand fleuve ibérique. Le Douro et le Tage au régime pluvial océanique affichent des variations de 1 à 8 pour le premier, de 1 à 15 pour le second. Quant aux organismes dont le régime dépend surtout des pluies méditerranéennes, ils sont plus irréguliers encore. On a noté un coefficient de 21 sur le bas Guadalquivir, et le Jucar ou le Segura donneraient des chiffres plus élevés encore. Cette relative pondération, l'Ebre la doit au rôle que jouent dans son économie de l'eau, les Pyrénées et leur couverture neigeuse. Ni la Sierra Nevada dans le bassin du Guadalquivir, ni l'ensemble Gredos-Guadarrama entre Tage et Douro n'exercent une semblable influence sur les variations du débit. Seul parmi les fleuves ibériques de quelque importance, le modeste Minho qui draine la pointe NW de la péninsule nous a donné un exemple de coefficient inférieur à celui de l'Ebre, à savoir 3,3. Bien que cette valeur ait été calculée sur une période un peu courte - 10 ans seulement - il ne semble pas qu'un allongement de la période d'observation puisse ici changer notablement les résultats.

Ainsi, si l'Ebre inférieur connaît généralement des oscillations autour de la moyenne relativement modérées, il est capable toutefois, dans les cas exceptionnels, d'écarts assez spectaculaires.

La répartition des modules, compte tenu des valeurs déterminées par corrélation, est beaucoup plus symétrique qu'en amont de la confluence du Sègre, ce qui justifie un ajustement par la loi de Gauss. En l'absence de ces modules, c'est un ajustement par la loi Γ qui s'imposait. Histogramme et graphique de répartition montrent que les valeurs les plus couramment enregistrées se situent entre 400 et 600 m³/s. Elles représentent un peu plus de la moitié des cas. Donc, un an sur 2 en moyenne, le débit du fleuve se situe entre ces deux bornes. Deux fois par siècle environ, il atteint ou dépasse 900 m³/s, tandis que du côté des faibles valeurs, le débit d'ordre centenaire est de 200 m³/s. On remarque que c'est là un niveau un peu supérieur à celui atteint en 1948-49.

3°/ Périodes humides, périodes sèches :

Soixante années d'observation constituent une série trop courte pour justifier la recherche d'une quelconque périodicité. Par contre, il était possible d'orienter nos investigations dans deux directions : l'étude des phases de débit supérieur ou inférieur à la moyenne et la recherche du "trend" ou "tendance".

En ce qui concerne les phases alternées, nous avons cherché à les mettre en relief d'une part à l'aide du tableau XXXIII

où nous donnons en particulier l'écart à la moyenne des modules, d'autre part en lissant la courbe des débits annuels par le biais d'une moyenne mobile de base 4. Ainsi se dessinent de 1913 à nos jours, six grandes périodes alternativement déficitaires et excédentaires, soit :

- de 1913 à 1920, une phase humide, interrompue seulement en 1917-18 par un épisode de pénurie, grave mais de courte durée.

- de 1921 à 1925 se développe une courte phase déficitaire suivie d'

- une période approximativement normale, plutôt excédentaire par suite de la présence de deux années de fort débit en 1927-28 et 1929-30. Au-delà de la lacune des années 1934 à 1942, nous trouvons :

- une longue phase de maigres prononcés qui s'étend jusqu'en 1958, à peine divisée en deux parties d'importance à peu près égale par la forte hydraulicité de l'année 1950.

- A cheval sur l'extrême fin de la 5ème décennie et le début de la 6ème se dessine une période largement excédentaire mais d'assez courte durée.

- Depuis 1963, l'Ebre est à nouveau entré dans une phase de modules le plus souvent inférieurs à la moyenne.

Ainsi, au-delà des variations qui opposent parfois brutalement deux années successives et donnent un graphique au tracé en dents de scie très tourmenté, on peut déceler des oscillations de plus grande amplitude, sans qu'il soit possible toutefois de déterminer une loi régissant ces oscillations.

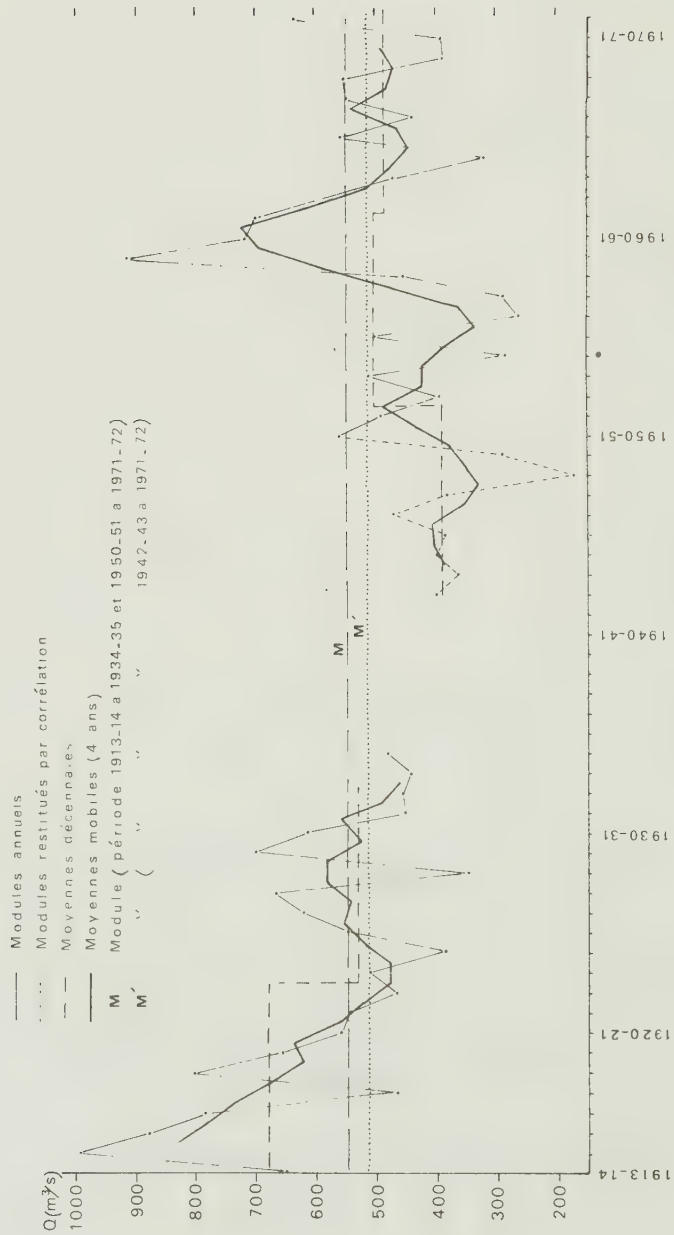
TABLEAU XXXIII : LES VARIATIONS DU MODULE DE L'EBRE A TORTOSA

Années hydrologiques	Q	Ecart au module	Ecart moyen par période	% par rapport au module	Moyenne de la période	Moyennes mobiles	Module décennal
(1913 - 14) (1914 - 15) (1915 - 16) (1916 - 17)	(651) (992) (881) (787)	+ 106 + 447 + 336 + 242	+ 283	+ 51,0	828	828	
(1917 - 18)	(461)	- 84	- 84	- 15,4	461	780	
(1918 - 19) (1919 - 20) (1920 - 21)	(802) (654) (560)	+ 257 + 109 + 15	+ 127	+ 23,3	672	733 676 619	679,8
(1921 - 22) (1922 - 23) (1923 - 24) (1924 - 25)	(543) (467) (509) (390)	- 2 - 78 - 36 - 155	- 68	- 12,5	491	639 556 519 477	
(1925 - 26)	(545)	0				478	
(1926 - 27) (1927 - 28)	(618) (665)	+ 73 + 120	+ 96	+ 17,6	641	515 554	529,8
(1928 - 29)	(346)	- 199	- 199	- 36,5	346	543	
(1929 - 30) (1930 - 31)	(701) (611)	+ 156 + 66	+ 111	+ 20,3	656	582 581	
(1931 - 32) (1932 - 33) (1933 - 34) (1934 - 35)	(448) (455) (744) (479)	- 97 - 90 - 104 - 65	- 89	- 16,3	456	524 554 489 456	

TABLEAU XXXIII : LES VARIATIONS DU MODULE DE L'ERRE A TORTOSA (suite)

Années hydrologiques	Q	Ecart au module	Ecart moyen par période	% par rapport au module	Moyenne de la période	Moyennes mobiles	Module décennal
(1942 - 43)	(395)	- 150					
(1943 - 44)	(360)	- 185					
(1944 - 45)	(395)	- 150	- 191	- 33,0	354	383	388,1
(1945 - 46)	(382)	- 163				400	
(1946 - 47)	(465)	- 80				405	
(1947 - 48)	(380)	- 165				349	
(1948 - 49)	(168)	- 377				324	
(1949 - 50)	(288)	- 257					
(1950 - 51)	(558)	+ 13	+ 55	+ 10,0	600	348	
(1951 - 52)	(490)	- 55				376	
(1952 - 53)	(391)	- 154				432	
(1953 - 54)	(507)	- 38				486	
(1954 - 55)	(283)	- 262				418	
(1955 - 56)	(501)	- 44	- 148	- 27,1	396	420	500,6
(1956 - 57)	(262)	- 283				388	
(1957 - 58)	(287)	- 258				333	
(1958 - 59)	(452)	- 93				375	
(1959 - 60)	(913)	+ 368				478	
(1960 - 61)	(715)	+ 170	+ 177	+ 32,4	722	592	
(1961 - 62)	(695)	+ 150				694	
(1962 - 63)	(567)	+ 22				722	
(1963 - 64)	(466)	- 79	- 154	- 28,2	391	611	
(1964 - 65)	(316)	- 229				511	
(1965 - 66)	(554)	+ 9	+ 9	+ 0,01	554	476	484,6
(1966 - 67)	(435)	- 110	- 110	- 20,3	435	445	
(1967 - 68)	(547)	+ 2	+ 3	+ 0,005	548	463	
(1968 - 69)	(549)	+ 4				521	
(1969 - 70)	(388)	- 157	- 155	- 28,8	389	477	
(1970 - 71)	(391)	- 154				468	
(1971 - 72)	(631)	+ 86	+ 86	+ 0,1	631	490	

Fig.57: LES VARIATIONS DU MODULE DE L'EBRE A TORTOSA



4°/ La recherche d'une "tendance" :

Il s'agit de voir si, derrière le désordre apparent des phénomènes, il existe une évolution des débits dans un sens précis, en particulier si le développement de la politique d'irrigation a eu sur les modules une incidence importante. Pour cela, nous avons calculé d'une part les moyennes des cinq décennies d'observation dont nous disposions, d'autre part une nouvelle moyenne mobile, de base 10 cette fois permettant par conséquent de faire ressortir des mouvements de plus grande amplitude. La courbe obtenue, nous montre une diminution remarquablement régulière des modules jusqu'à la décennie 1947-56. Ensuite se dessine une oscillation qui paraît aujourd'hui terminée, alors que les moyennes décennales ont retrouvé des valeurs voisines de celles de la période 1933-1943.

Ainsi cette courbe traduit encore les trois périodes les plus nettement individualisées de ce siècle : les périodes humides et de fort débit de 1913-20 et de 1960-63 et la période sèche et de grave pénurie de 1940-49. Mais au-delà de ces oscillations dues aux excès momentanés du climat, on constate, dans l'ensemble un mouvement descendant de la courbe, mouvement qui toutefois semble stoppé de nos jours. Tout ceci correspond assez bien à ce que nous savons sur l'aménagement hydraulique du bassin; L'irrigation y est fort ancienne, et les modules sont depuis bien longtemps affaiblis par les prises d'eau. De sorte que l'extension récente, des surfaces irriguées, si elle a accentué le déficit n'a pas provoqué de changement spectaculaire. D'autre part, c'est au cours des

années 1930 à 1935 qu'on été amorcées quelques unes des plus grandes réalisations en matière d'aménagement hydraulique. L'accentuation de prélèvements a dû contribuer à maintenir constante la pente de la courbe entre la fin de la première grande période humide et le grand creux de 1948-49.

En résumé, en ce qui concerne les variations des modules depuis le début des observations, c'est à dire depuis 1914, on constate :

- dans le détail, de grands contrastes d'une année à l'autre, en particulier lors des périodes humides qui sont souvent interrompues par une année de fort déficit.

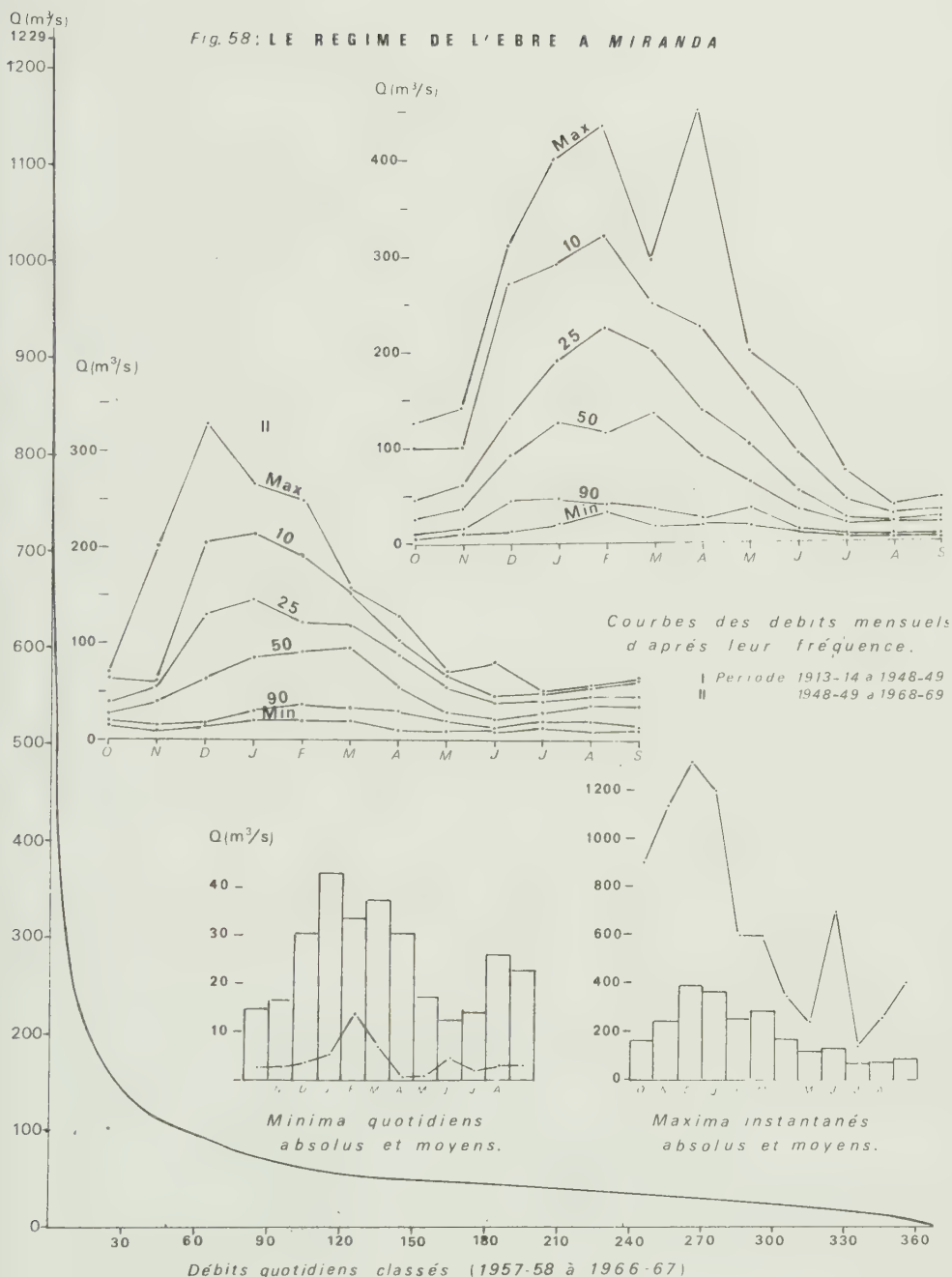
- une étude plus approfondie fait ressortir des oscillations alternées portant sur des périodes de 5 à 7 ans.

- ces oscillations masquent une légère tendance des débits à l'amenuisement. Tendance visible surtout jusque vers 1956-57.

SECTION II - LES RYTHMES ANNUELS DE L'ECOULEMENT -

A - L'EBRE SUPERIEUR EST AVANT TOUT CANTABRIQUE, et son caractère originel est peu modifié par l'action des hommes.

1°/ La courbe des débits classés (fig. 58) et la considération des différents débits caractéristiques (tableau XXXIV) mettent tout de suite l'accent sur un fait fondamental : le caractère moins



excessif de l'Ebre cantabrique que des rivières méditerranéennes, surtout si l'on considère le phénomène des crues. En effet, le rapport $DC \text{ Max} / \bar{Q}$ atteint seulement 3,9 contre 5 à 6 en pays méditerranéen, et la courbe des débits classés s'étire moins du côté des forts débits, que bien des courbes de rivières méditerranéennes. Les excès dans ce sens sont donc moins spectaculaire ici que sur les bords de la Méditerranée. Ils sont plus mesurés aussi, dans l'ensemble, du côté des faibles débits. Le DC 6 atteint encore 71 % du module et le DC 9, 43 % ; ce qui signifie que pendant les 3/4 de l'année, on est assuré de disposer au moins de 43 % du débit annuel soit presque la moitié du module. Par contre, le DCE tombe brusquement à 8 m³/s, soit 1 % du module, et ce, malgré l'action régulatrice de la retenue de Reinosa, et la faiblesse des fonctions dans ce secteur. C'est là un niveau très bas, qui rappelle les chiffres enregistrés sur les rivières de l'Est de la Péninsule.

On retrouve donc dans le régime des rivières ce mélange d'influences géographiques (proximité de l'océan) qui tendent à atténuer les excès positifs, et d'influences cosmiques ou aérologiques (position par rapport à l'anticyclone des Açores) responsables au contraire de pénuries moins durables certes qu'ailleurs mais souvent très sévères.

2°/ Un régime pluvial océanique :

- L'influence océanique se précise sur les courbes de variations saisonnières. Celles-ci traduisent un régime simple, unimodal, à maximum d'hiver. A l'état naturel (v. courbe de la période

1913-1948), février est le plus souvent le mois des hautes eaux, suivi de mars, puis de janvier. Il s'agit donc d'un régime pluvial océanique quelque peu influencé par les neiges cantabriques qui tendent à gonfler vers l'arrière le maximum hivernal, et sur le graphique des fréquences de débit, à dédoubler le maximum de la courbe de fréquence 50 %. On voit alors apparaître une pointe pluviale en janvier (rappelons que le maximum pluviométrique est ici placé en décembre) et une poussée pluvio-nivale en mars, séparées par la légère dépression de février correspondant à la rétention nivale. Ce régime représente un affaiblissement de l'influence nivale plus importante à l'amont, puisque le phénomène de la rétention est bien visible sur le graphique des débits mensuels de Arroyo. Comme le faisait prévoir la courbe des débits classés, le minimum d'été est très creusé, et les coefficients de débit d'août et septembre s'abaissent à 0,22 et 0,17 à Arroyo, à 0,21 et 0,23 à Miranda : ceci pour la période 1914-1948, c'est à dire celle qui reflète le régime naturel du fleuve.

3°/ Les variations du régime saisonnier :

D'une année à l'autre, ce régime lié essentiellement aux fantaisies de la pluie peut varier sensiblement. C'est ainsi que le maximum peut osciller de décembre à avril tandis que le minimum reste beaucoup plus étroitement localisé entre août et septembre avec une écrasante prédominance d'août. Cette irrégularité affecte aussi les débits mensuels. Elle est sensible surtout en décembre et février, comme le prouvent le décolllement de la courbe de

fréquence 10 % par rapport aux autres courbes sur le graphique des fréquences mensuelles de débit, ainsi que les coefficients d'irrégularité max-mensuel/min-mensuel qui atteignent 46,3 en décembre et 48,3 en février. Ce rapport est minimum par contre en été (8,7 en août, 11,3 en juin). Cette irrégularité se manifeste enfin au niveau des extrêmes journaliers. Là encore, ce sont les mois de plus forte pluviosité moyenne qui présentent les plus gros coefficients : 387 en décembre qui a vu circuler un débit de 138 m³/s lors de la crue de décembre 1959, tandis que le minimum s'abaissait à 23 m³/s en décembre 1948. Les mois de pénurie sont au contraire beaucoup plus réguliers.

4°/ Les modifications apportées par la retenue de Reinosa :

- La construction du bassin de retenue de Reinosa a sensiblement modifié tout ceci, agissant d'une part sur le rythme annuel de l'écoulement, d'autre part sur l'irrégularité saisonnière.

En effet, on constate d'abord que la période de hautes eaux est avancée d'un mois et se situe désormais en janvier, tandis que le minimum se creuse en juin et qu'un deuxième minimum apparaît en septembre-octobre. L'intervention de l'homme a donc eu d'abord pour conséquence de modifier et compliquer quelque peu le rythme de la rivière, d'autre part et surtout de régulariser l'écoulement en étalant vers la saison chaude les forts débits d'hiver. Ainsi, les hautes eaux sont moins marquées, le plus fort coefficient mensuel de débit s'élève à 1,85 contre 1,90 avant 48, les maires estivaux sont beaucoup moins profonds. Aujourd'hui, le coeffi-

cient le plus déprimé ne descend pas au-dessous de 0,46, presque la moitié du module ! Rappelons qu'il était de 0,21 avant 1948, le 1/5 du module seulement.

Il s'ensuit une atténuation considérable de l'irrégularité saisonnière. Le rapport du débit mensuel maximum au débit mensuel minimum n'est plus que de 4 au lieu de 9,2 avant 1948.

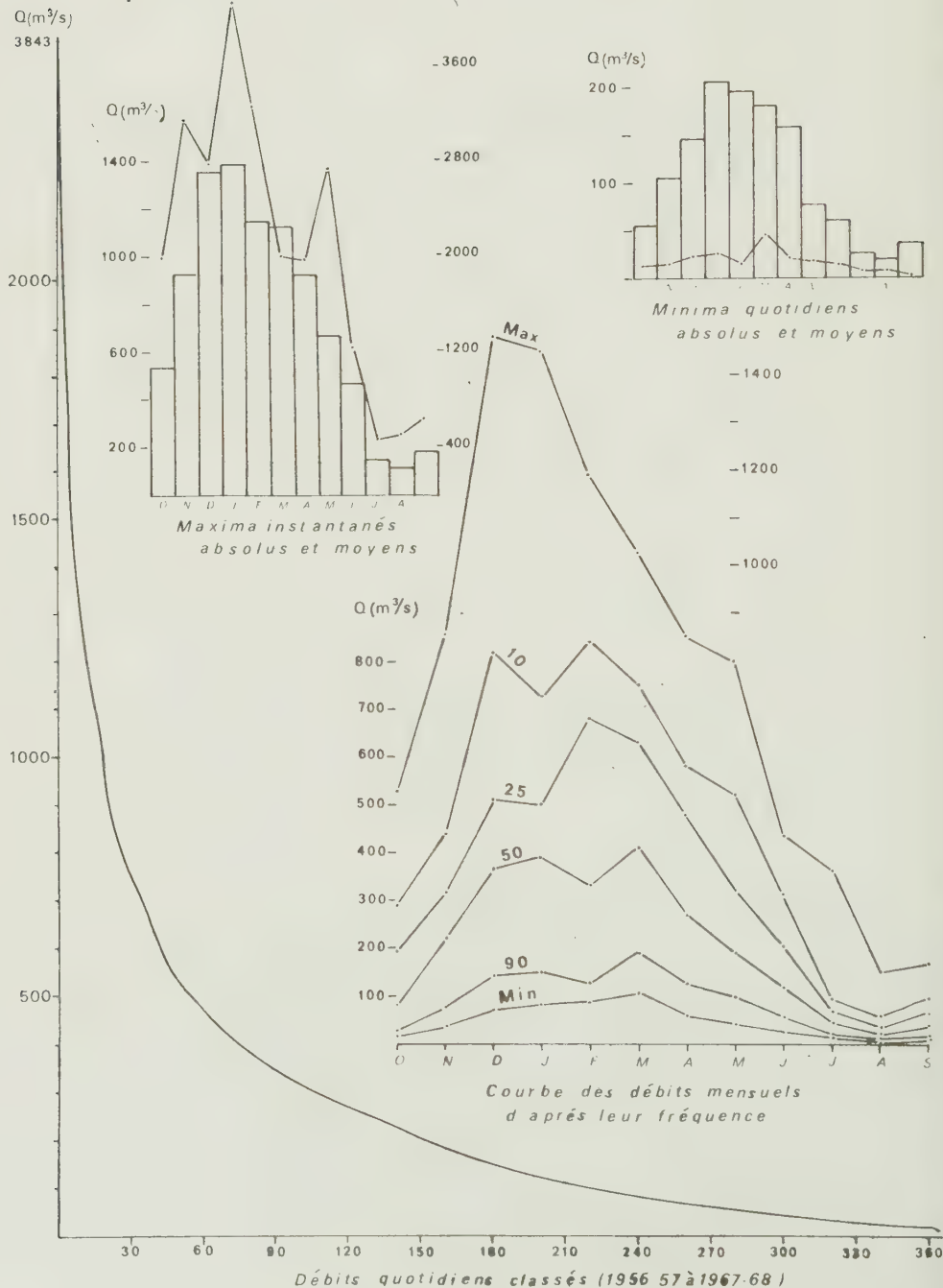
L'intervention de l'homme a donc eu ici pour conséquence d'atténuer le caractère océanique de l'Ebre supérieur et de régulariser en partie l'écoulement.

B - L'EBRE ARAGONAIS -

Malgré ces travaux de régularisation en amont et la construction sur l'Aragon du bassin de Yesa, l'Ebre moyen reste encore une rivière au tempérament relativement excessif. Ce caractère est d'ailleurs plus marqué qu'en amont, plus marqué aussi que sur la Garonne toulousaine.

1°/ La courbe des débits classés (fig. 59) traduit ce trait par un plus grand étirement le long de l'axe donnée que sur le graphique de Miranda. Le rapport $DC \text{ Max} / \bar{Q}$, soit 5,2 entre désormais dans la fourchette des valeurs caractéristiques du monde méditerranéen. Toutefois, en comparaison avec le régime méditerranéen type, la diminution plus lente des rapports au module des divers débits caractéristiques, ainsi qu'une concavité moins marquée de la courbe des débits classés montre une meilleure répartition de l'é-

Fig.59: LE REGIME DE L'EBRE A ZARAGOZA



coulement au long de l'année, en particulier une moins grande concentration des forts débits, 7 mois 1/2 seulement sont au-dessous du module contre plus de 9 mois sur le Guadalquivir par exemple. Le rapport $DCE/\bar{Q}$ qui s'élève à 0,08 tombe à nouveau dans le cadre des valeurs typiquement méditerranéennes, mais il est proche du seuil supérieur. Ainsi, les pénuries sont ici à la fois moins longues et moins profondes que sur les rivières pluviales méditerranéennes, caractère lié il est vrai aux aménagements d'amont. De même comparées à celles de l'Ebre supérieur, ces pénuries se révèlent un peu moins misérables, ($DCE/\bar{Q}$ est égal à 0,01 à Miranda), mais par contre plus durables. Les rapports $DC6/\bar{Q}$ et $DC9/\bar{Q}$ sont en effet respectivement de 0,71 et 0,43 pour Miranda, 0,61 et 0,26 pour Saragosse.

2° / Le régime de l'Ebre aragonais :

Considérant le régime naturel qui nous est donné à peu près par les moyennes antérieures à 1948, on constate que la répartition des débits au long de l'année s'est quelque peu modifiée depuis la confluence de l'Aragon. Celui-ci, en renforçant l'influence nivale d'amont complique la courbe des variations saisonnières et fait apparaître au lieu de l'unique gonflement hivernal, deux pointes, l'une en décembre, l'autre en mars. La première est pluviale, mais plus précoce qu'à Miranda. Elle se produit en décembre et correspond par conséquent, compte tenu du retard à l'écoulement, à des pluies de fin novembre début décembre, donc, le plus souvent d'origine méditerranéenne ; la deuxième pointe, celle de mars est pluvionivale. Ces deux maxima se retrouvent à tous les niveaux du graphi-

que de fréquences mensuelles, avec parfois un décalage d'un mois qui est toujours révélateur d'un fait précis. Ainsi, au niveau de 10 et 25 % le deuxième maximum est avancé à février, ce qui prouve une fois de plus que les très gros débits même s'ils comportent une part importante d'eau de fusion sont toujours essentiellement pluviaux. On notera enfin, le palier qui interrompt momentanément la chute des débits vers les minima estivaux. Il résulte d'une influence locale, celle des pluies de mai caractéristiques de la nuance ibérique du climat méditerranéen qui commence à s'affirmer dans la dépression aragonaise. Face à ces gros débits de printemps et d'hiver, les maigres estivaux sont très prononcés, ce qui donne un coefficient de variation de 17,4. L'irrégularité s'est donc accentuée depuis Miranda où, même avant la construction du barrage, elle n'atteignait que 9,2.

3°/ La plus grande complexité du régime par rapport à l'amont a, sur les variations du cycle saisonnier d'une année à l'autre des conséquences bien différentes selon qu'on envisage la marche annuelle de l'écoulement ou les valeurs des débits mensuels. En effet :

En ce qui concerne la place du maximum, on constate une très grande irrégularité puisque celui-ci peut osciller de novembre à juin selon l'influence qui a prédominé au cours de l'année. Une influence méditerranéenne prépondérante peut donner un maximum de novembre ou décembre, ou bien un maximum de printemps. Dans ce cas, la pointe principale est située en mars, avril, mai, voire juin selon qu'il s'agit de pluies orographiques pyrénéennes entraînant une partie plus ou moins importante de la neige (max. de mars) ou de

pluies de bas pays (pointe en mai, ou en juin lorsque s'affirme la continentalité aragonaise). Lorsque l'influence océanique l'emporte, c'est au coeur de l'hiver, en janvier-février que sont atteints les plus hauts niveaux.

Par contre, en ce qui concerne les débits mensuels, on constate que leurs variations d'une année à l'autre sont moins importantes qu'en amont. Seul, le mois de décembre, avec un coefficient de 48,1 entre les extrêmes de 1480 m³/s et 30 m³/s, et une courbe de fréquence 10 % nettement décollée par rapport aux autres, atteint un niveau d'irrégularité comparable à ceux enregistrés à Miranda. Les autres mois ont des débits beaucoup moins variables, avec des coefficients le plus souvent inférieurs à 20. A noter toutefois en ce qui concerne l'écoulement estival, une plus grande incertitude des débits à Saragosse qu'à Miranda. On remarquera enfin qu'avec le coefficient très bas de 9,4, le mois de mars est le plus régulier de tous les mois de l'année. Depuis 1914, le minimum mensuel n'est jamais tombé au-dessous de 108 m³/s, et la courbe de fréquence 10 % atteint presque 200 m³/s pour un maximum de 1031 m³/s. C'est à l'abondance de ses débits minima, une abondance due surtout au soutien nival, que ce mois de mars doit son exceptionnelle régularité.

4°/ L'action humaine se traduit ici par une simplification de la courbe des variations saisonnières. Le creux hivernal disparaît cédant la place à l'unique maximum. Du point de vue de l'utilité du fleuve, la modification la plus importante, si ce n'est la plus spectaculaire, réside dans l'augmentation des débits estivaux.

Ainsi, à la simplicité du régime cantabrique s'est substituée une complexité croissante due à l'introduction d'influences nouvelles mais que l'action de l'homme tend aujourd'hui à estomper. On remarquera surtout, en ce qui concerne le régime naturel que l'Ebre saragossan, contrairement à la Garonne toulousaine, est encore assez peu pyrénéen et nival, malgré l'apport de l'Aragon. Par contre l'affirmation progressive de l'influence pluviale méditerranéenne entraîne le développement d'un tempérament plus excessif et souvent plus irrégulier qu'en amont.

C - L'EBRE INFERIEUR -

En ce qui concerne ce dernier secteur du cours, et par rapport à nos analyses précédentes, nous serons obligés de raisonner sur des données à la signification quelque peu différente. En effet, l'éloignement du bassin de Reinosa qui estompe son influence, rend inutile la distinction entre une étape antérieure et une étape postérieure à la construction du barrage. D'autre part, l'ancienneté de certains aménagements techniques, puis l'échelonnement dans le temps des nouveaux ouvrages, ne nous permettent plus la distinction entre un régime naturel, antérieur aux travaux d'hydraulique et un régime influencé. Dans ces conditions, nous prendrons en compte toute la série hydrométrique de 1913-14 à 1969-69, sachant que nous raisonnons sur des chiffres qui correspondent à une certaine hétérogénéité des conditions d'écoulement.

TABLEAU XXXIV : DEBITS CARACTERISTIQUES A TROIS STATIONS DU COURS DE L'EBRE COMPARES
AUX VALEURS MOYENNES DES PAYS MEDITERRANEENS

STATIONS	DC Max	DC 1	DC 3	DC 6	DC 9	DC E
Miranda	245 (3,9)	145 (2,3)	72 (1,1)	45 (0,71)	27 (0,43)	8 (0,01)
Saragosse	1 280 (5,2)	755 (3,1)	345 (1,4)	150 (0,61)	64 (0,26)	21 (0,08)
Tortosa	1 750 (3,2)	1 200 (2,2)	740 (1,3)	380 (0,69)	160 (0,29)	35 (0,06)
Pays méditerranéens (1)	(5 - 6)	(2,5 - 3)	(0,80 - 1)	(0,30 - 0,50)	(0,08 - 0,20)	(0,01 - 0,10)

(1) D'après J.R. Wanney (1962)

Les chiffres entre parenthèses indiquent le rapport des débits caractéristiques aux modules.

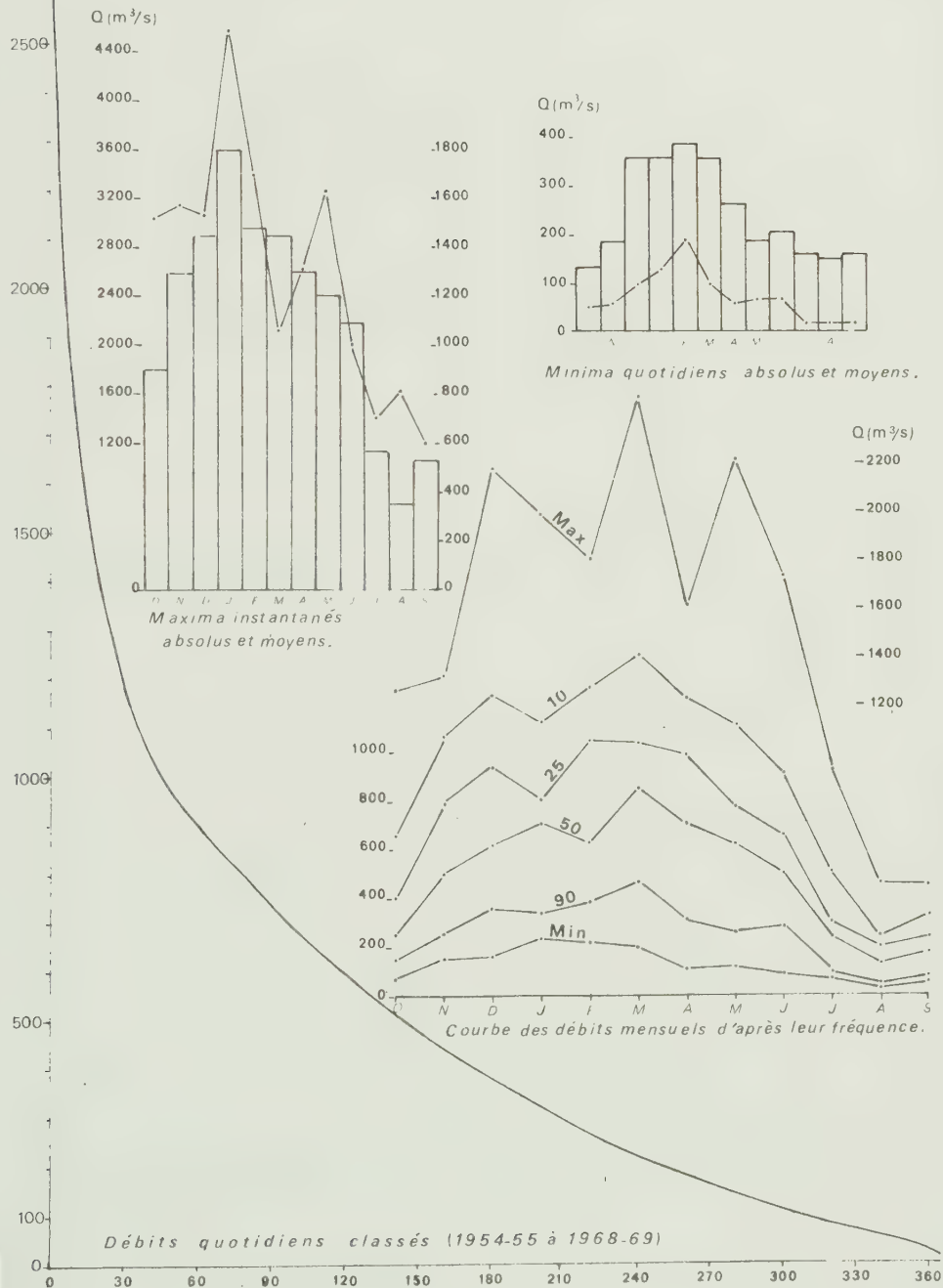
1°/ La courbe des débits classés (fig. 60) se caractérise par une atténuation considérable de la concavité, du fait du gonflement relatif des débits de 6 et 9 mois. Le rapport de ces débits caractéristiques au module est nettement supérieur à la moyenne des pays méditerranéens. A l'inverse, les DC Max et DCI sont inférieurs. Ce sont là les signes d'une pondération dont seul pouvait être capable, dans ce milieu souvent excessif qu'est le milieu méditerranéen, un organisme complexe soumis à des influences variées et compensatrices.

2°/ Un régime complexe entraînant une certaine pondération.

La courbe des variations saisonnières de l'Ebre inférieur intègre toutes les influences apportées au fleuve par ses différents affluents. Aussi est-elle plus complexe qu'en amont. Toutefois, ce sont les mêmes pointes et les mêmes creux, à peine esquissés à Saragosse qui se dessinent ici en se précisant. Ainsi, on retrouve le maximum pluvial de décembre, précédant un creux hivernal plus marqué du fait d'une rétention nivale plus sévère depuis la confluence du Sègre-Cinca, et accessoirement de la sécheresse hivernale du bassin inférieur. Au-delà de ce creux, la conjonction des premières pluies méditerranéennes avec le déclanchement sur la moyenne montagne pyrénéenne de la fusion nivale, assure au mois de mars les plus gros débits mensuels de l'année. Le maximum pluvial de mai grossi par une nouvelle onde d'eau de fusion - d'autant plus importante que la température s'accroît alors brusquement - provoque un nouveau maximum. Enfin les orages de printemps, fréquents dans les hautes vallées montagnardes où ils entraînent

4400 $Q(m^3/s)$

Fig.60: LE REGIME DE L'EBRE A TORTOSA



les dernières neiges de l'année, fréquents aussi dans tout le milieu méditerranéen à nuance continentale, déterminent sur la courbe un léger gonflement avant la chute des débits vers des minima estivaux qui, toutes proportions gardées, sont moins creusés qu'à Saragosse.

Ainsi se définit un régime complexe compensé où se mêlent les influences pluviales océaniques, méditerranéennes et même continentales et l'influence nivale des Pyrénées.

3°/ Une pondération peu méditerranéenne :

La multiplication de ces influences, leur diversification et le renforcement du rôle de la neige formant contrepoids à la violence méditerranéenne, il s'ensuit une certaine pondération du régime.

D'abord, avec un rapport de 6,1 (et même 5,4 en régime naturel) entre les extrêmes mensuels, l'irrégularité atteint un des niveaux les plus bas de tout le bassin, et même de la Péninsule Ibérique. Nous avons recherché en effet quelle était la valeur de ces variations saisonnières sur les autres fleuves ibériques de taille à peu près comparable. Pour les grands organismes hispano-portugais, nous avons trouvé 14 à Bitetos, sur le Douro, et 16 à Vila Velha da Rodao sur le Tage. De son côté, le Guadalquivir à Seville a donné 13 ; sur le Guadiana, H. Vivian (1966) prévoit 30 à 40 et des valeurs semblables pour le Mondego à Coïmbra, en régime non influencé. Mais dans l'état actuel des choses, les moyennes mensuelles extrêmes varient dans le rapport de 1 à 118 ! Sur la façade méditerranéenne, Jucar et Segura doivent présenter des varia-

tions du même ordre. L'examen de ces quelques chiffres nous conduit à cette conclusion étonnante : en matière de variations saisonnières, l'Ebre est plus proche de la Tamise dont le coefficient à Teddington est de 4,4, que de ses voisins ibériques.

En pays méditerranéen, des coefficients aussi bas que celui de l'Ebre inférieur ne se conçoivent que sur les petites rivières très karstiques ou les grands organismes drainant des milieux variés et présentant par conséquent à l'aval un régime compensé, ce qui est le cas de l'Ebre.

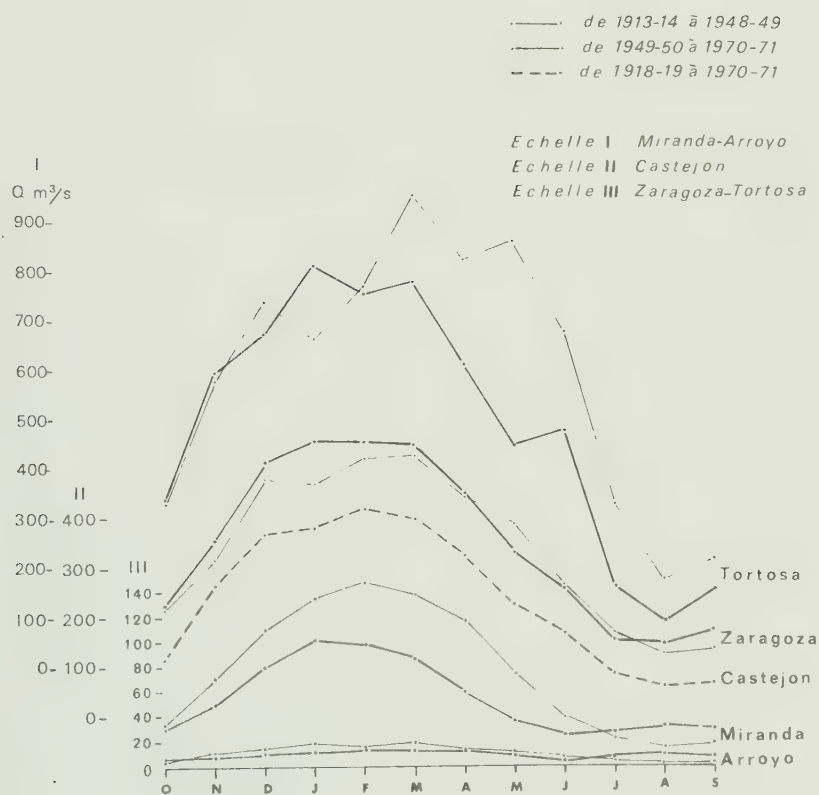
Cette pondération apparaît encore lorsqu'on compare les cycles successifs de l'écoulement annuel. Certes, le maximum peut se placer à des dates très différentes, de novembre à juillet. Mais il s'agit le plus souvent d'une simple interversion dans l'ordre des 4 maxima. D'autre part, pour chacun des mois, l'incertitude que traduit le rapport maximum/minimum mensuel enregistré (ou bien débit de fréquence 10 % sur débit de fréquence 90 %) est ici minimum. Jamais ce rapport n'atteint 20, alors que ce chiffre est dépassé 7 mois sur 12 à Miranda où le record de variabilité est remporté par le mois de février. On se souvient que les débits de ce mois peuvent varier dans la proportion de 1 à 48. A Tortosa, le mois le plus variable est juin. Cette incertitude des débits de juin est liée à la position de charnière de ce mois entre la saison des pluies méditerranéennes de printemps et la période d'aridité estivale. Le moindre décalage dans le temps des phénomènes hydrométéorologiques peut donc l'inclure dans l'une ou l'autre de ces saisons, et par conséquent entraîner abondance ou pénurie. C'est par contre l'hiver

qui assure la plus grande régularité des apports mensuels en interdisant, grâce aux pluies océaniques d'amont et aux forts coefficients d'écoulement, les très faibles débits.

4° / L'évolution du régime :

Bien qu'il ne soit pas possible pour les raisons signalées ci-dessus, de préciser nettement la différence entre le régime actuel et le régime naturel du fleuve, nous pouvons tout de même amorcer une comparaison entre le début de la période d'observation (de 1913 à 1934) où les aménagements et les causes humaines de perturbation étaient encore assez peu nombreuses, et la période récente (1948 à 69) au cours de laquelle l'homme s'est imposé comme un facteur de plus en plus important de l'écoulement. Les courbes correspondant à ces deux périodes coïncident à peu près pour les débits d'automne qui ne sont donc pas perturbés. La pointe de janvier sur l'emplacement du petit creux hivernal semble résulter à la fois de causes naturelles et temporaires : la série des hivers pluvieux des années 60 à 63 et d'une cause technique : l'étalement vers l'hiver, par les bassins, des eaux des crues méditerranéennes d'automne. (v. fig. 53 : régime des entrées et sorties dans les bassins de Tremp et Camarasa). Mais le changement le plus spectaculaire est certainement la diminution considérable du débit de mai. La moyenne de ce mois n'atteint plus aujourd'hui que 50 % de sa valeur lors de la période 1913-1932. C'est en effet en mai que les bassins du Gallego, du Sègre et du Cinca réalisent l'essentiel de leur remplissage, tandis que les bassins d'amont, Reinosà et Yesa

Fig. 61: LES VARIATIONS SAISONNIERES AU LONG DE L'EBRE



achèvent de constituer leurs réserves. Des volumes considérables sont ainsi retenus sur l'écoulement naturel.

La dernière modification, moins visible mais tout aussi importante, réside dans l'affaiblissement des débits estivaux, qui, eux aussi ont baissé de 50 %. Cette évolution est inverse de celle constatée à Miranda et Reinosa. Effectivement, la régularisation par les bassins avait pour but d'assurer aux canaux d'irrigation une alimentation suffisante. Or il n'y a plus de prise d'eau importante au-delà de Tortosa. Il n'y a donc plus de débit minimum à maintenir dans le fleuve et de toute façon, les irrigations ont consommé une part importante de l'écoulement estival.

C H A P I T R E I I I

BILANS D'ECOULEMENT

SECTION I - BILANS ANNUELS GLOBAUX -

A - LA SITUATION ACTUELLE -

Dans l'état actuel de l'écoulement, on constate que les coefficients P'/P prennent au long du fleuve deux ordres de valeur. En amont, et même jusqu'au delà de Castejon, le fleuve écoule plus de 40 % de la pluie tombée. Ensuite, tandis que l'Ebre pénètre plus avant dans la dépression aragonaise, la sécheresse se fait de plus en plus tyrannique et les coefficients baissent rapidement. A Saragosse, ils n'atteignent plus que 0,35 et ils sont tombés à 0,31 au niveau de Tortosa, malgré l'apport entre ces deux villes du Gallego puis du Sègre-Cinca qui ont dû renflouer momentanément le bilan.

TABLEAU XXXV : BILANS ANNUELS DE L'ECOULEMENT A DIVERSES STATIONS
DU COURS DE L'EBRE

Stations	P (mm)	P' (mm)	$C = \frac{P'}{P}$	D (mm)	DI	DN	CN
Miranda	800	361	0,43	439	0,1	439	0,43
Castejon	695	306	0,44	389	60	329	0,52
Saragosse	676	240	0,35	436	61	375	0,44
Tortosa	660	205	0,31	455	77	378	0,43

P : Pluie tombée en mm

P' : Pluie écoulée

C : Coefficient d'écoulement

D : Déficit d'écoulement

DI : Déficit correspondant à la consommation d'eau

DN : Déficit naturel

CN : Coefficient d'écoulement naturel

Dans l'ensemble l'Ebre écoule donc 31 % des 660 mm tombés à la surface de son bassin. Si ce chiffre traduit une infériorité notable par rapport à la Garonne dont le coefficient à Tonneins s'élève à 0,41, il est toutefois le signe d'un bilan plus favorable que sur

TABEAU XXXVI : BILANS ANNUELS DE L'ÉCOULEMENT POUR QUELQUES FLEUVES IBERIQUES ET POUR LA GARONNE

FLEUVE	STATION	P (mm)	P' (mm)	$C = \frac{P'}{P}$	D (mm)	Q (m ³ /s)	Q (l/s/km ²)	S (km ²)
ÈBRE	Tortosa	660	205	0,31	455	545	6,5	84 280
DOURO	embouchure	643	205	0,32	438	640	6,5	97 620
TAGE	embouchure	669	199	0,30	470	450	6,3	71 364
GUADALQUIVIR	Séville	576	111	0,19	465	185	3,5	52 050
GUADIANA	embouchure	568	52	0,09	516	130	1,65	67 000
SEGURA	embouchure	314	27	0,09	287	16	0,9	18 630
GARONNE	Bordeaux	890	370	0,41	520	600	11,7	51 300

la plupart des fleuves espagnols, en particulier ceux du versant méditerranéen.

B - BILANS DE L'ÉCOULEMENT NATUREL -

En réalité, tout ceci est, la plupart du temps assez loin de la nature même des rivières, en raison de la consommation par les hommes de volumes d'eau sans cesse croissants. Or, en ce qui concerne l'Ebre, nous avons vu que les volumes utilisés étant désormais connus, il était possible de rétablir ou tout au moins d'approcher le débit naturel et par conséquent d'évaluer aussi le bilan naturel.

Les résultats obtenus pourraient paraître surprenants si on ne rappelait une fois de plus l'ordonnance des affluents pyrénéens qui, à intervalles réguliers et jusqu'aux approches de l'embouchure, viennent renflouer des bilans en train de s'effondrer. En effet, le calcul des nouveaux coefficients a donné des valeurs très sensiblement les mêmes à Miranda, Saragosse et Tortosa. Cette uniformité cache de brusques variations au niveau des grandes confluences, variations qui apparaissent lorsqu'on prend en compte des stations intermédiaires comme Castejon ou Méquinenza, malgré les incertitudes de cette dernière qui nous ont empêchée de la mentionner dans le tableau des bilans. On voit ainsi que l'Aragon porte momentanément à 0,52 le coefficient d'écoulement de l'Ebre. Peu à peu, ce coefficient retourne à une valeur proche de celle de Miranda. A ce moment, le Gallego vient à point pour empêcher une brutale décadence, mais nous n'avons point ici de station permettant de

mesurer ce phénomène. Aux approches du Sàgre, les données de Méquinenza nous ont permis d'évaluer à 40 % l'écoulement du fleuve avant le dernier gros apport pyrénéen. C'est cet apport, en fin de course qui va permettre à l'Ebre de retrouver au niveau de Tortosa, les mêmes valeurs d'écoulement qu'à Saragosse et même à Miranda.

Ces considérations nous ont permis de mettre en relief l'importance primordiale des Pyrénées dans le soutien du budget du fleuve.

SECTION II - BILANS MENSUELS -

L'examen du tableau XXXVII relatif aux bilans mensuels montre une croissance régulière des coefficients d'écoulement depuis le début de l'année hydrologique (et même depuis le mois de septembre précédent) jusqu'en mars où est atteint le maximum. La valeur élevée affichée par ce mois : 0,53, résulte d'un double phénomène : l'état de saturation des sols dans toute la région à pluies d'hiver importantes, et la suralimentation causée par la fusion nivale. Ce maximum est précédé en février par un léger palier dans l'évolution, dû à la rétention nivale. Ainsi transparaît, jusque dans les valeurs des coefficients d'écoulement, l'influence des neiges pyrénéennes. C'est en septembre que le bilan est le plus défavorable, car, si les pluies ont repris sur la plus grande partie du bassin, l'évaporation encore très importante du fait des températures élevées en prélève une bonne partie, déterminant le déficit mensuel le plus important de l'année : 57,7 mm. De plus, le débit naturel du fleuve

TABLEAU XXXVII : BILANS MENSUELS D'ÉCOULEMENT POUR L'ENSEMBLE
DU BASSIN

	P	P'	C	D
Octobre	66,3	10,6	0,16	55,7
Novembre	64,8	17	0,26	47,8
Décembre	63,3	22,8	0,36	40,5
Janvier	48,8	22,9	0,46	25,9
Février	48,5	22,2	0,45	26,3
Mars	53	28,2	0,53	24,8
Avril	50	22,8	0,45	37,2
Mai	66,3	22,3	0,33	44
Juin	60,3	18	0,29	42,3
Juillet	34,8	8,4	0,24	26,4
Août	40,3	4,7	0,11	35,6
Septembre	63,6	5,9	0,09	57,7
Année	660	207	0,31	453

P : pluie tombée en mm

P' : Pluie écoulée en mm

C : Coefficient d'écoulement = $\frac{P'}{P}$

D : Déficit d'écoulement = $P - P'$.

a cessé d'être soutenu artificiellement par la vidange des bassins, comme c'est le cas en juillet et août. Il faut compter enfin avec un certain retard à l'écoulement d'autant plus important que les réserves du sol sont plus basses.

SECTION III - BILANS ANNUELS PARTICULIERS -

A - BILANS ANNUELS D'ÉCOULEMENT A TORTOSA DE 1951 A 1969-70

Ils sont très variables d'une année à l'autre comme on peut le voir sur le graphique ci-joint (v. fig. 63), ainsi que sur le tableau XXXVIII. Avec un coefficient de 0,47, l'année 1959-60 présente le bilan le plus favorable de la série étudiée. On sait que cette année est restée célèbre dans les annales du fleuve par sa forte pluviosité et les nombreuses crues qui, à plusieurs reprises ont fait sortir l'Ebre de son lit. Sans l'intervention humaine sous ses diverses formes, l'écoulement aurait certainement dépassé 50 % des précipitations. Viennent ensuite les années très pluvieuses de 1960-61 et aussi 61-62, bien que cette période ait été beaucoup moins arrosée (son module pluviométrique est en effet à peine supérieur à la moyenne). Mais d'une part, les températures ont pu favoriser l'écoulement en agissant sur l'évaporation, d'autre part, après 3 années de fort excédent pluviométrique, les nappes sont chargées au maximum, et les bassins ont leur capacité totalement utilisée. Il faut alors supposer qu'il y a eu une double décharge,

-52-

Fig.62:CORRELATION PLUIE - DEBITS DANS LE BASSIN DE L'EBRE



TABLEAU XXXVIII : BILANS D'ECOULEMENT ANNUELS A TORTOSA

A n n é e s	P	P'	$C = \frac{P'}{P}$	D	P'_N	D_N	C_N
1946 - 49	479	75	0,46	404	-	-	-
1951 - 52	617	184	0,30	433	-	-	-
1952 - 53	527	146	0,27	381	-	-	-
1953 - 54	608	190	0,31	418	-	-	-
1954 - 55	555	106	0,19	449	-	-	-
1955 - 56	696	188	0,27	508	-	-	-
1956 - 57	522	98	0,18	422	-	-	-
1957 - 58	522	107	0,20	415	-	-	-
1958 - 59	795	169	0,21	626	-	-	-
1959 - 60	723	348	0,47	375	-	-	-
1960 - 61	736	268	0,36	468	-	-	-
1961 - 62	662	260	0,39	402	-	-	-
1962 - 63	705	209	0,30	496	-	-	-
1963 - 64	629	181	0,29	448	-	-	-
1964 - 65	502	128	0,25	374	-	-	-
1965 - 66	727	225	0,31	502	298	429	0,41
1966 - 67	545	163	0,29	382	246	299	0,45
1967 - 68	692	184	0,26	508	282	310	0,41
1968 - 69	748	205	0,28	543	288	460	0,39
1969 - 70	506	203	0,40	303	-	-	-
1970 - 71	770	175	0,22	595	-	-	-
1971 - 72	770	241	0,31	529	-	-	-

P : Pluie tombée en mm

P' : Pluie écoulee réellement (en mm)

C : Coefficient d'écoulement

D : Déficit

P'_N : Pluie écoulee en régime naturel

D_N : Déficit naturel

C_N : Coefficient d'écoulement naturel.

des bassins et des nappes qui ont renforcé l'écoulement, et par conséquent élevé les coefficients:

A l'inverse, les minima appartiennent aux années très sèches: 1948 - 49 avec un coefficient que nous avons évalué à 0,16 (à partir des débits reconstitués par corrélation), 1956 - 57 (coefficient 0,18) et 1954 - 55 (coefficient 0,19). On remarquera aussi l'année 1958 - 59, la plus arrosée de la série et qui n'a écoulé que 21 % des 795 mm reçus ! Ce pourcentage, proche des minima suppose un déficit énorme. Il atteint en effet 626 mm ! C'est de loin le plus élevé, et on constate qu'il dépasse même le module pluviométrique de bien des années. Cette situation s'explique par les deux années de forte sécheresse qui ont précédé. Il s'agit surtout d'ailleurs de sécheresses hivernales, les plus graves puisqu'elles empêchent la reconstitution des nappes. Ce ne sont pas en effet, les pluies d'été, en grande partie évaporées qui permettent aux réserves du sol de se refaire. Sur le graphique des bilans annuels, cette situation fait gicler le point de l'année 1958 - 59 très loin de la partie la plus dense du nuage.

Lors de ces années exceptionnelles, la répartition mensuelle des coefficients d'écoulement s'organise souvent de façon très différente de la répartition normale.

B - BILANS POUR UNE ANNEE HUMIDE : 1959 - 60

Ainsi, en 1959-60, c'est le mois d'avril qui a enregistré le plus fort écoulement, avec le coefficient étonnant de 2,27.

L'énormité de ce chiffre a pour cause une pluviosité du mois anormalement faible : 10,1 mm seulement tandis que les débits après un hiver exceptionnellement pluvieux, restent très élevés : 750 m³/s représentant une lame d'eau de 23 mm. On remarquera aussi le fort écoulement de février et le décalage vers mars du léger palier qui, dans le cycle annuel moyen se situe sur ce mois là. Le caractère très océanique de cet hiver 1959 - 60 a atténué en effet le rôle de la neige et les débits ont reflété avec plus de fidélité les variations de la pluie.

C - BILANS POUR DEUX ANNEES DEFICITAIRES : 1954-55 et 1956-57

Parmi les années à faible coefficient d'écoulement, nous avons choisi 1954 - 55 et 1956 - 57 qui sont toutes deux des années sèches et de faibles débits. C'est surtout à l'extrême faiblesse de l'écoulement printanier que 1954-55 doit un bilan annuel aussi défavorable. En effet 19 % seulement des précipitations ont été rendues à la mer par le fleuve. Déjà deux mois d'hiver (janvier et février) avaient donné de très faibles coefficients malgré la valeur exceptionnellement élevée des précipitations. Mais celles-ci succédaient dans la plaine à un automne très sec, et en altitude tombaient sous forme de neige. C'est cette neige, fondant brutalement en mars sous l'effet d'une élévation rapide de la température qui est responsable de ce coefficient de 0,70, d'autant plus étonnant que s'amorce alors une des plus graves sécheresses de la période étudiée. L'accentuation de cette pénurie au cours des mois suivants, la faiblesse du soutien

nival, la nécessité de remplir malgré tout les bassins font alors tomber le coefficient de mai au niveau de valeurs plus représentatives de septembre que de mai. Jusqu'en août, ces valeurs resteront extrêmement faibles et bien au-dessous du niveau moyen, malgré une pluviosité supérieure à la normale. Ainsi, les pluies de printemps et les modalités de la fonte des neiges apparaissent comme un des facteurs essentiels de l'écoulement estival.

L'originalité de l'année 1956-57, en ce qui concerne les bilans mensuels, réside dans la précocité des très faibles valeurs d'écoulement. Dès le mois d'avril, elles tombent à 5 % par suite d'une sécheresse hivernale tout à fait exceptionnelle qui a empêché la reconstitution des réserves du sol. De sorte que, lorsque les pluies se déclanchent à nouveau, en avril et mai, elles sont en grande partie absorbées et profitent peu à l'écoulement. Par contre, à partir de juin la saturation étant atteinte, l'écoulement reprend et se poursuit même en s'accroissant en juillet, malgré l'arrêt des pluies.

Ainsi constatons-nous une fois de plus qu'en l'absence de perturbations d'origine nivale... ou humaine, les variations de la pluviosité se répercutent sur l'écoulement de l'Ebre inférieur avec un retard plus ou moins long selon l'état des sols, mais souvent de l'ordre de un mois au minimum.

TABLEAU XXXIX : BILANS DE L'ECOULEMENT POUR UNE ANNEE HUMIDE : 1959-60 ET DEUX ANNEES SECHES : 1954-55 et 1956-57.

M o i s	1959 - 60			1954 - 55			1956 - 57		
	P	P'	C	P	P'	C	P	P'	C
Octobre	104,9	20,8	0,19	14,0	3,9	0,27	27,9	4,9	0,17
Novembre	83,4	33,4	0,40	44,0	5,1	0,11	51,1	9,8	0,19
Décembre	95,4	68,9	0,72	35,0	11,4	0,32	13,3	8,1	0,61
Janvier	65,9	40,4	0,61	83,5	22,9	0,27	18,1	7,3	0,40
Février	62,5	47,4	0,75	62,2	20,1	0,32	36,3	11,0	0,30
Mars	87,4	44,7	0,51	23,6	16,6	0,70	24	6,3	0,26
Avril	10,1	23,0	2,27	18,0	6,1	0,33	64,6	3,5	0,05
Mai	63,9	19,4	0,30	34,8	3,3	0,09	96,2	8,1	0,08
Juin	65,5	21,7	0,33	83,9	7,0	0,08	129,5	27,7	0,21
Juillet	57,8	11,1	0,19	59,3	2,3	0,04	12,0	5,2	0,43
Août	28,2	6,5	0,23	56,3	2,5	0,04	38,1	2,3	0,06
Septembre	71,5	4,9	0,06	39,4	3,8	0,10	32,1	3,6	0,11
Année	796,6	342,8	0,43	555	106	0,19	522	98	0,18

CONCLUSION -

Au terme de cette étude, le régime de l'Ebre nous apparaît comme un régime de plus en plus complexe au fur et à mesure que le bassin s'agrandit et intègre des régions climatiques plus différentes. A l'amont, ce régime est simple, sous la dépendance des pluies océaniques d'hiver et de l'anticyclone des Açores ou de son apophyse cantabrique en été. Il en découle deux saisons hydrologiques : une saison d'abondance et une saison de pénurie, celle-ci plus marquée toute fois que dans les pays océaniques de l'Ouest européen, du fait de la situation planétaire et des conditions aérologiques de ce secteur. Aussi, les coefficients de débit les plus bas tombent-ils autour de 0,15 sur bien des rivières du domaine cantabrique.

Peu à peu, l'Ebre devient plus montagnard et plus Pyrénéen avec l'arrivée échelonnée des grands affluents de rive gauche qui apportent une influence nivale grandissante. On notera que le grand voisin pyrénéen du Nord de la chaîne, la Garonne, connaît une évolution exactement inverse, puisqu'elle voit ces caractères s'estomper quelque peu au-delà de Toulouse, au profit de l'influence pluviale océanique.

Vers l'aval, c'est aussi le caractère méditerranéen, qui se précise, avec le renforcement des maxima printaniers qui sont désormais d'origine à la fois nivale et pluviale, et l'effondrement des débits estivaux.

De la combinaison de ces influences, il résulte un régime original, différent de celui des autres fleuves ibériques et aussi des grands organismes du monde méditerranéen. Au terme de sa course,

l'Ebre inférieur est en effet moins pluvial et océanique que le Tage ou le Douro. Toutes proportions gardées, ses débits d'hiver sont moins volumineux, par contre une influence nivale plus précise gonfle vers le printemps la courbe des variations saisonnières, et évite au fleuve cette chute brutale des débits que l'on observe dès le mois de mai dans le lit du Douro, par exemple. La comparaison avec le Rhône, révèle par contre sur ce dernier une influence de la neige et à plus forte raison de la glace beaucoup plus importante. Aussi, les hautes eaux sont-elles retardées par rapport à celles de l'Ebre et se prolongent-elles plus avant dans la saison chaude.

Comme tous les fleuves complexes, drainant des secteurs aux nuances climatiques variées, l'Ebre est relativement pondéré. On a vu en effet qu'il réunissait dans son bassin des secteurs qui, sur le plan de la pluviométrie et à une échelle assez grossière, réagissent souvent en même temps que le monde océanique ouest européen. C'est à dire que les années humides et de forte hydraullicité dans le bassin supérieur correspondent à peu près aux périodes humides de l'Ouest français par exemple. De vastes secteurs du bassin sont au contraire rattachés au monde méditerranéen dont ils partagent les rythmes. Or l'expérience montre qu'il y a souvent discordance sur le plan de la pluviométrie entre les deux domaines. Cette discordance implique des phénomènes de compensations dans tout bassin à cheval sur les deux régions climatiques. Ainsi s'explique la faiblesse de l'irrégularité interannuelle, et même, malgré des maigres estivaux assez prononcés, de l'irrégularité saisonnière.

Si l'Ebre, s'individualise par un régime saisonnier original, et aussi par une pondération, assez remarquable pour un fleuve

méditerranéen, son bilan d'écoulement est par contre, et dans l'état actuel des aménagements, tout à fait comparable à celui du Douro ou du Tage. Cependant, il reste beaucoup plus favorable que celui des fleuves ibériques plus méridionaux que lui : Júcar, Segura, Guadalquivir, Guadiana. Et surtout il faut rappeler qu'en l'absence d'utilisations humaines, le coefficient d'écoulement passerait de 0,31 à 0,43, et se trouverait ainsi au niveau de celui de la Garonne à Bordeaux.

Grâce à sa relative abondance, à son régime aux étiages sévères certes, mais moins prononcés et plus tardifs que sur les autres fleuves ibériques, l'Ebre est un bien inestimable pour cette partie de l'Espagne qui, sans lui, ne serait qu'un semi-désert inhospitalier.

Cependant, ces avantages sont quelque peu atténués par la fâcheuse tendance que présente ce fleuve à sortir de son lit en hiver, ou en automne pour ce qui est du cours inférieur, et à s'épuiser en été. Ce sont ces excès de sens contraire : crues et étiages, qu'il convient d'étudier à présent.
